

# Effects of Electromagnetic Fields on Health Outcomes: A Systematic Review Study

Received: 3 November 2013

Revised: 19 December 2013

Accepted: 24 January 2013

## ABSTRACT

Anoshiravan Kazemnejad<sup>1</sup>  
Mohammad Firoozabadi<sup>2</sup>  
Mohammad Gholami Fesharaki<sup>3</sup>  
Sareh Samadi<sup>4</sup>  
Neda Gilani<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Professor, Department of Medical Physics, Faculty of Medicine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>4</sup>M.Sc, Health, Center of Applied Research, Department of Police (NAJA) Medicine, Tehran, Iran.

<sup>5</sup>Ph.D Student, Biostatistics, Department of Biostatistics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

### \*Corresponding Author:

Anoshiravan Kazemnejad  
Tel: (+98)9121088097

Email: kazem\_an@modares.ac.ir

**Background:** According to the uncertain effect of electromagnetic fields like BTS antenna and parasites noise, present study has been done with aim of investigating this effect using a systematic review study method.

**Materials and Methods:** To collect articles related to this study, we used external databases such as ISI, Pubmed, Google Scholar, and internal data base like Iranmedex, SID and Magiran using combinations of key words.

**Results:** Among the 682 articles that found in the initial search 193 articles included in our study according to the inclusion criteria. Based on the results, 80%, 36%, 67% and 47% among 19, 85, 36 and 53 studies showed the adverse effects of electromagnetic waves on "testicular function-sperm and fertility" defects, "Leap physical / chemical and DNA Genotoxicity", "gene and protein expression" alteration and "the nervous system cancer" respectively.

**Conclusion:** The results of this study indicated that if specific absorption rate of BTS antenna and parasites noise are higher than standard, negative effects on fertility, gene expression and protein will be happened.

**Keywords:** parasitic, bts antenna, electromagnetic radiations, health

# بررسی اثرات میدان‌های الکترومغناطیس بر پیامدهای سلامت: مطالعه مروری سیستماتیک

تاریخ دریافت: ۱۲ آبان ۱۳۹۲ تاریخ اصلاح: ۲۸ آذر ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۳ دی ۱۳۹۲

**مقدمه:** توانایی با توجه به مشخص نبودن اثرات ناشی از میدان‌های الکترومغناطیس نظیر دکل‌های BTS و پارازیت مطالعه حاضر با هدف بررسی این اثرات در قالب یک مطالعه مروری سیستماتیک انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** جستجو برای مقالات مرتبط با این مطالعه با استفاده از پایگاه داده‌های خارجی مانند ISI، Pubmed، Google Scholar و پایگاه‌های داخلی نظیر Iranmedex، SID، Magiran و با ترکیب واژگان کلیدی صورت گرفت.

**نتایج:** در بین ۶۸۲ مقاله یافت شده در جستجوی اولیه تنها ۱۹۳ مقاله حائز شرایط ورود به مطالعه گردیدند. براساس نتایج به دست آمده به ترتیب ۸۰٪، ۳۶٪، ۶۷٪ و ۴۷٪ از بین ۱۹، ۸۵، ۳۶، ۵۳ مقاله یافته شده نشان دهنده اثر مخرب امواج الکترومغناطیس بر نقص «عملکرد بیضه- اسپرم و باروری»، «جهش فیزیکی/شیمیایی DNA و ژنوتوکسیسیتی»، «تغییرات بیان ژن و پروتئین» و «سرطان‌های سیستم عصبی» بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد که در صورتی ضریب جذب امواج پارازیت و آنتن‌های BTS مخابرات بیشتر از حد استاندارد باشد این امواج تأثیر منفی بر باروری و تغییرات بیان ژن و پروتئین خواهد داشت.

**کلید واژه‌ها:** پارازیت، آنتن BTS، امواج الکترومغناطیس، سلامت

## چکیده

انوشیروان کاظم نژاد<sup>\*۱</sup>

سید محمد فیروز آبادی<sup>۲</sup>

محمد غلامی فشارکی<sup>۳</sup>

ساره صمدی<sup>۴</sup>

ندا گیلانی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>استاد، گروه آمار زیستی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>استادیار آمار زیستی، گروه آمار زیستی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

<sup>۴</sup>کارشناس ارشد بهداشت، مرکز تحقیقات کاربردی بهداری کل ناجا، تهران، ایران.

<sup>۵</sup>دانشجوی دکتری، آمار زیستی، گروه آمار زیستی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

## \*نویسنده مسئول:

انوشیروان کاظم نژاد

تلفن: ۹۱۲۱۰۸۸۰۹۷ (+۹۸)

پست الکترونیک:

Kazem\_an@modares.ac.ir

## مقدمه

خطرات بیولوژیک بسیاری را به دنبال خواهد داشت. در طی ۲۵ سال گذشته، هدف بیشتر تحقیقات رسیدن به پاسخ این سوال اساسی بوده است که آیا میدان الکترومغناطیس می‌تواند روی

پیشرفت تکنولوژی و کاربرد وسایل الکترونیکی علی‌رغم ایجاد رفاه،

هرتز (فرکانس مدولاسیون) در یک پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز، اطلاعات را منتقل می‌کند.

البته باید اشاره نمود، طی بررسی‌ها و تحقیقات صورت گرفته توسط هنس و همکاران در سال ۱۹۷۰ و اندازه‌گیری‌های شدت موثر میدان مغناطیسی بر روی BTS ها در مناطق روستایی و مناطق شهری کشور اتریش، نتایج نشان داد شدت موثر میدان مغناطیسی از  $10^{-4}$  میکرو وات بر متر مربع تا  $1/4$  میکرو وات بر متر مربع متغیر می‌باشد و مقادیر بدست آمده کمتر از مقادیر توصیه شده و مجاز است [۶]. در مورد آنتن‌های مولد پارازیت ماهواره ای باید گفت جهت ایجاد پارازیت دو راهکار وجود دارد. در راهکار اول ماهواره بصورت کلی مورد هدف امواج هم دامنه (۱۰ Ghz) قرار گرفته؛ در این روش که اصطلاحاً به آن روش مترامکمداری [۷] می‌گویند از آنجا که آنتن اصلی تولید کننده امواج ماهواره ای، مورد هدف پارازیت قرار می‌گیرد (شکل ۱) از این رو از نظر پزشکی منجر به هیچ مخاطره‌ای نمی‌گردد، منتها مشکل اساسی این شیوه آن است که چون ماهواره مبداء مورد اصابت امواج قرار می‌گیرد کلیه امواج ماهواره دچار پارازیت می‌گردد که این باعث شکایت و پیگیری مجامع بین المللی از منبع تولید کننده پارازیت می‌گردد. در روش دوم، امواج پارازیت روی دریافت کننده امواج یا بشقاب دریافت کننده متمرکز می‌گردد (شکل ۲). این شیوه که اصطلاحاً به روش پارازیت زمینی<sup>۷</sup> خوانده می‌شود [۷] مشکل روش اول را نداشته، منتها بخاطر پخش امواج ۱۰ Ghz روی منازل ممکن است باعث بروز مشکلات سلامتی و بهداشتی گردد. در بررسی انجام شده مشخص گردید که قدرت، طول مدت مواجهه با یک موج و همچنین ضریب جذب موج (SVR) بایستی به عنوان سه اصل در مطالعه اثرات مواجهه با امواج الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گیرد. نکته دیگر اینکه بیشتر مطالعات انجام شده تاکنون در شرایط *in vitro* صورت گرفته و کمتر مطالعه‌ای در فاز انسانی انجام شده است. حال آنکه مطالعات انجام شده در شرایط آزمایشگاهی لزوماً در شرایط واقعی دارای نتایج یکسانی نخواهند بود. این عدم بررسی در فاز انسانی شاید به دو دلیل عمده زیر است:

۱- از لحاظ مسائل اخلاقی انجام مطالعات و مواجهه افراد با امواج

سلامتی انسان تاثیرگذار باشد؟

در طی این سال‌ها، دانشمندان مطالعات آزمایشگاهی زیادی را در رابطه با اثرات بیولوژیک میدان‌های الکترومغناطیس انجام داده اند که بیشتر این مطالعات در شرایط *in vitro* انجام شده است [۱]. میدان‌های غیریونیزان الکترومغناطیس در واقع فوتون‌های با انرژی کمتر از ۱۰ الکترون-ولت است و این میزان انرژی به حدی نیست که منجر به خروج الکترون‌ها از مدارات الکترومغناطیس شود.

میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین (ELF) و تشعشعات رادیویی (RFR) گفته می‌شود ELF محدوده فرکانسی ۳ هرتز تا ۳ کیلو هرتز را در بر می‌گیرد و عمدتاً در این رابطه فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز مورد مطالعه قرار گرفته است، خطوط انتقال نیرو و وسایل الکترونیکی در این محدوده فرکانسی کار می‌کنند. تشعشعات رادیویی RF محدوده فرکانسی ۱۶ تا  $6/5$  کیلو هرتز مربوط به امواج رادیویی AM، ۷۶ تا ۱۰۸ مگا هرتز امواج رادیویی FM، و سیستم موبایل بین ۸۰۰ مگاهرتز تا ۳ گیگا هرتز را در بر می‌گیرد [۲-۵].

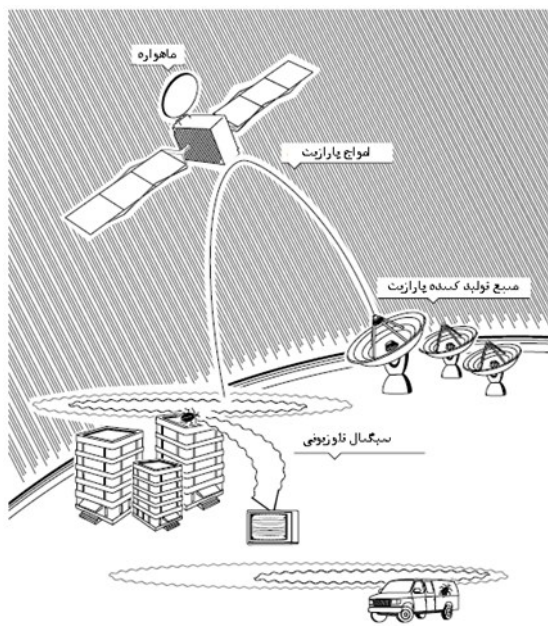
از انواع مختلف امواج الکترومغناطیس استفاده‌های فراوانی در صنعت ارتباطات، پزشکی و غیره می‌شود. این امواج علی‌رغم آنکه مزایای عمده‌ای دارند اثرات سوئی نیز بر روی بافت‌های زنده بر جا می‌گذارند. این اثرات از طریق یونیزاسیون، تهییج، افزایش دمای بافت و مکانیسم‌های دیگری که به بافت زنده آسیب می‌رساند ایجاد می‌شود. مطالعه اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی بر سیستم‌های بیولوژیک در حوزه‌های مختلف بطور وسیعی صورت گرفته است.

همچنین با افزایش روزافزون استفاده از سیستم تلفن همراه، تابش گیری از میدان‌های الکترومغناطیسی تلفن همراه و آنتن‌های گیرنده و فرستنده تلفن همراه<sup>۴</sup> رو به افزایش است. سیستم تلفن همراه GSM ۹۰۰<sup>۵</sup> که در بیشتر کشورهای آسیایی و اروپایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای دو باند فرکانسی ۹۱۵-۸۹۰ مگاهرتز (فرکانس گوشی تلفن همراه) و ۹۶۰-۹۳۵ مگاهرتز (فرکانس آنتن‌های گیرنده فرستنده مخابرات) است که همراه با پالس ۲۱۷

<sup>۱</sup> مطالعات *in vitro* که با عنوان *in glass* نیز شناخته می‌شوند، مطالعاتی هستند که برخلاف مطالعات *in vivo* که روی انسان و حیوان انجام می‌پذیرد به بررسی خصوصیات زیستی در شرایط ایزوله و شرایط آزمایشگاهی می‌پردازند.

<sup>۲</sup>: Extremely Low Frequency Electromagnetic Field, <sup>۳</sup>: Radio Frequency Radiation, <sup>۴</sup>: Base Station, <sup>۵</sup>: Global System for Mobiles, <sup>۶</sup>: Orbital jamming,

<sup>۷</sup>: Terrestrial jamming

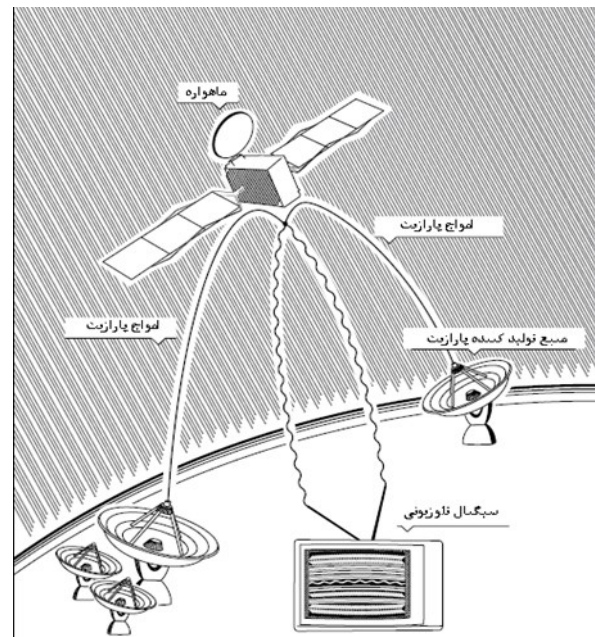


تصویر ۲: ایجاد پرازیت ماهواره‌ای از طریق ایجاد امواج پرازیت در دریافت کننده امواج به روش پرازیت زمینی

تهران انجام پذیرفت؛ نشان می‌دهد که در میدان نزدیک با افزایش فاصله از پای آنتن، میانگین چگالی توان امواج الکترومغناطیس کاهش می‌یابد. به طوری که از پای دکل تا ۱۰ متر، افزایش میانگین چگالی توان امواج بطنی و از فاصله ۱۰ تا ۱۵ متر کاملاً محسوس است ولی در میدان دور با افزایش فاصله از ۲۰ متر، میانگین چگالی توان امواج الکترومغناطیس کاهش می‌یابد [۸].

### مواد و روش‌ها

این مطالعه مروری سیستماتیک با هدف بررسی تاثیر میدان‌های الکترومغناطیس نظیر دکل‌های BTS و امواج تولید کننده پرازیت بروی سلامت انسان و حیوان انجام پذیرفت. در این مطالعه منظور از سلامت، عملکرد بیضه- اسپرم و باروری، جهش فیزیکی/شیمیایی DNA و ژنوتوکسیسیته، تغییرات بیان ژن و پروتئین و سرطان‌های سیستم عصبی در نظر گرفته شد. در این مطالعه جستجو مقالات از پایگاه داده‌هایی خارجی (Google Scholar, Pubmed, ISI) و داخلی (Magiran, SID, Iranmedex) با ترکیب واژگان کلیدی نظیر GSM, Mobile jamming, Satellite jamming, Parasite generator, GSM BTS station, Fertility, Environmental effects, Biological effects, Base Transceiver Station, Signal, Microwaves, Global System of Mobile Communication (GSM), Cancer, FDMA, CDMA, (BTS), Mobil Phone, Genes, Genotoxicity, DNA, Noise, Sperm, Fertility



شکل ۱: ایجاد پرازیت ماهواره‌ای از طریق ایجاد امواج پرازیت در ماهواره مبدا به روش مترکام مداری

الکترومغناطیس مورد تأیید نیست

۲- با توجه به اینکه امواج الکترومغناطیس توسط دستگاه‌های مخابراتی (آنتن‌های BTS<sup>۱</sup> موبایل)، تجاری (دستگاه مایکروویو، دستگاه‌های تولید کننده امواج اینترنت) و امنیتی (دستگاه‌های تولید کننده پرازیت مخابراتی و ماهواره‌ای) تولید می‌گردد، گرایش نسبتاً کمی در مراکز تحقیقاتی معتبر برای بررسی اثرات زیان‌آور اینگونه امواج در جهت مقابل نهادهای مخابراتی، تجاری و امنیتی وجود دارد از این رو تا کنون مطالعات بسیار کمی در این زمینه و بصورت مستقیم انجام پذیرفته است.

لذا جهت نیل به هدف مطالعه یعنی بررسی اثرات ناشی از دکل‌های BTS و امواج تولید کننده پرازیت بر پیامدهای سلامت، در این مطالعه به جای بررسی مستقیم مقالات به بررسی غیرمستقیم مقالات از طریق مطالعه طول موج‌های هم دامنه با طول موج آنتن‌های BTS و همچنین آنتن‌های تولید کننده امواج پرازیت پرداخته شد.

اما قبل از این بررسی باید گفت وضعیت امواج پخش شده از طرف آنتن‌های BTS کاملاً در حیطه استاندارد نمی‌باشد. یعنی خانه‌های مجاور با دکل‌های چنین آنتن‌هایی از مخاطرات زیادی که ناشی از وجود امواج الکترومغناطیس می‌باشد رنج خواهند برد. برای نمونه نتیجه مطالعه نصیری و همکاران (۲۰۰۱) که با هدف بررسی وضعیت انتشار امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های BTS (Base Transceiver Station) باند ۹۰۰ مگاهرتز در شهر

<sup>1</sup>: Base Transceiver Station

## بحث و نتیجه گیری

در بین ۶۸۲ مقاله یافت شده در جستجوی اولیه در زمینه تاثیر امواج (اعم از تشعشعات مربوط به پارازیت، BTS و امواج موبایل) بر پارامترهای سلامت تنها ۱۹۳ مقاله حائز شرایط وارد مطالعه شدند. از این بین ۱۹ مقاله در زمینه نقص در عملکرد بیضه-اسپرم و باروری مردان، ۸۵ مقاله در زمینه جهش فیزیکی/شیمیایی DNA، ژنوتوکسیسیته، ۳۶ مقاله در زمینه تغییرات ژن و پروتئین و ۵۳ مقاله در زمینه سرطانهای سیستم عصبی بود.

در زمینه تاثیر مواجهه با امواج RF، آنتنهای BTS و پارازیت روی باروری و تولیدمثل پستاندارن و پرندگان نتایج نشان دهنده این نکته بوده است که قرارگیری در معرض RF می تواند موجب افزایش تلفات جنین، افزایش بروز ناهنجاریهای جنینی، کاهش وزن جنین، کاهش و اختلال در باروری مردان شود [۲۶-۱۳ و ۱۱] بطوریکه این اثرات به قدری زیادند که نمی توان معنی داری آنها را ناشی از افزایش درجه حرارت دانست. از طرفی هیچ شواهد قطعی از عوارض جانبی قرارگیری در سطوح معرض غیر حرارتی وجود ندارد.

براساس بررسی مطالعات انجام شده در زمینه اثرات ژنتیکی RF در انسان و سایر انواع سلولی دیگر می توان مشاهده نمود که در بیشتر این مطالعات شواهدی از آسیبهای ژنتیکی ناشی از RF شامل امواج BTS و پارازیت در شرایط آزمایشگاهی وجود ندارد [۸۰-۲۷]، از طرفی می توان چنین نتیجه گیری کرد که RF با دیگر عوامل زیست محیطی از قبیل جهش/سرطانزا اثر سینرژی یا رابطه خطی ندارد. از طرفی زمانی که پاسخ مورد نظر ژنتیکی مربوط به بررسی

و Proteins صورت گرفت. در این بررسی کلیه مطالعات حیوانی، آزمایشگاهی، کارآزماییهای بالینی، مطالعات انسانی گذشته نگر یا آینده نگر و گزارشهای موردی مرتبط لحاظ گردید. لیست منابع مقالات مرتبط یافت شده نیز جهت شناسایی هرگونه مطالعه مرتبط دیگر مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه هیچ گونه محدودیت زمانی در جستجوی مقالات وجود نداشته و مقالات به زبان غیر انگلیسی (به استثنای فارسی) و همچنین چکیده و خلاصه مقالات ارائه شده در کنفرانسها و همایشهای بین المللی در این مرور سیستماتیک وارد نگردید. همچنین در این مطالعه جهت بررسی کیفیت مقالات از چک لیست PRISMA<sup>1</sup> و با استفاده از محققان آموزش دیده جمع آوری گردید.

## نتایج

در بین ۶۸۲ مقاله یافت شده در جستجوی اولیه در زمینه تاثیر امواج (اعم از تشعشعات مربوط به پارازیت، BTS و امواج موبایل) بر پارامترهای سلامت، از پایگاه دادههایی خارجی و داخلی تعداد ۱۹۳ مقاله حائز شرایط، وارد مطالعه گردید. خلاصه نتایج به تفکیک، جدول ۱ نمایش داده شده است. براساس نتایج این جدول بیش از ۸۰٪ مطالعات به تاثیر امواج بر نقص در عملکرد بیضه-اسپرم و باروری اشاره نموده اند. همچنین درصد مطالعات با تاثیر مخرب در سه زمینه جهش فیزیکی/شیمیایی DNA و ژنوتوکسیسیته، تغییرات بیان ژن و پروتئین و سرطانهای سیستم عصبی به ترتیب برابر با ۳۶٪، ۶۷٪ و ۴۷٪ بود.

جدول ۱: خلاصه نتایج حاصل از جستجو به همراه فراوانی و درصد مقالات با گزارش اثر مخرب و یا غیر مخرب امواج الکترومغناطیس

تعداد مقالات	بدون تاثیر		دارای تاثیر مخرب			
	شماره منابع	درصد	تعداد	شماره منابع	درصد	
۱۹	۱۱۸	[۹-۱۲]	۴	[۱۱ و ۱۳-۲۶]	۸۰٪	نقص در عملکرد بیضه-اسپرم و باروری
۸۵	۲۵۷	[۲۷-۸۰]	۵۴	[۸۱-۱۱۱]	۳۶٪	جهش فیزیکی/شیمیایی DNA، ژنوتوکسیسیته
۳۶	۱۱۸	[۱۱۲-۱۲۳]	۱۲	[۱۲۴-۱۴۷]	۶۷٪	تغییرات ژن و پروتئین
۵۳	۱۸۹	[۱۰۹ و ۱۴۸-۱۷۴]	۲۸	[۱۳۱ و ۱۳۸ و ۱۷۵-۱۹۷]	۴۷٪	سرطانهای سیستم عصبی
۱۹۳	۶۸۲		۹۸			کل

(\*) : تعداد مقالات یافته شده در بررسی اولیه، (\*\*): تعداد مقالات نهایی پس از حذف مقالات نامرتب

<sup>1</sup>: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

- Mansourian M, Firoozabadi SM, Shankayi Z, Hassan ZM. Magnetic fields with frequency of 217 Hz can reduce cell apoptosis caused by electrochemotherapy. *Electromagn Biol Med* 2013; 32: 70-8.
- Ahlbom IC, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect* 2001; 109: 911-33.
- Drucker R. The role of voltage - gated Ca<sup>2+</sup> channels in neurite growth of cultured chromaffin cells induced by extremely low frequency (ELF) magnetic field stimulation. *Cell Tissue Res* 1997; 29: 217-30.
- Lai H. Generic effects of nonionizing electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 156-65.
- Macias MY, Battocletti JH, Sutton CH, Pintar FA, Maiman DJ. Directed and enhanced neurite growth with pulsed magnetic field stimulation. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 272-86.
- Harris JY. Electronic product inventory study. Bureau of Radiological Health Report BRH/DEP 1970: 29-70.
- Fairhurst G. On-board processing for anti-jam packet data satcom services. *Electron Commun Eng* 1992; 4: 115-22.
- Nasiri P, Monazam M, Zare S, Azam K, Yousefi Z, Hematjo R. The Study of the Status of Electromagnetic Waves Resulting from BTS (Base Transceiver Station), 900 Megahertz Frequency in Tehran. *Iran J Health Environ* 2011; 4: 331-40. (Persian).
- Dasdag S, Akdag M, Ulukaya E, Uzunlar A, Yegin D. Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. *Arch Med Res* 2008; 39: 40-4.
- Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. Mobile phone radiation does not induce proapoptosis effects in human spermatozoa. *Radiat Res* 2010; 174: 169-76.
- Stewart A, Rao JN, Middleton JD, Pearmain P, Evans T. Mobile telecommunications and health: report of an investigation into an alleged cancer cluster in Sandwell, West Midlands. *Perspectives in public health* 2012; 132: 299-304.
- Rago R, Salacone P, Caponecchia L, Sebastianelli A, Marcucci I, Calogero AE, et al. The semen quality of the mobile phone users. *J Endocrinol Invest* 2013; 36: 970-4.
- Derias E, Stefanis P, Drakeley A, Gazvani R, Lewis-Jones D. Growing concern over the safety of using mobile phones and male fertility. *Archives of andrology* 2005; 52: 9-14.
- Hardell L, Carlberg M, Ohlson CG, Westberg H, Eriksson M, Hansson Mild K. Use of cellular and cordless telephones and risk of testicular cancer. *International journal of andrology* 2007; 30: 115-22.
- Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of

ناهنجاری‌های کروموزومی ساختاری باشد، بیشتر مطالعات نشان‌دهنده اثر ناخالص RF با احتمالی هر چند کوچک هستند [۱۱۱-۸۱]. بنابراین روش‌های حساس‌تر دیگری برای ارزیابی تعیین چنین اثراتی مورد نیاز است.

همچنین با توجه به نتایج حاصل از مطالعات انجام شده با روش‌های غربال‌گری قدرتمند، مشاهده شده که قرارگیری در معرض RF با شدت پایین (کمتر از ۲ W kg<sup>-1</sup>)، به خصوص در فرکانس‌های تلفن همراه و آنتن‌های BTS، می‌تواند باعث تغییرات در بیان ژن یا پروتئین در برخی از انواع سلول‌ها گردد [۱۴۷-۱۲۴]. البته میزان این تغییرات معمولاً کوچک و از لحاظ کاربردی مورد تردید است [۱۲۳-۱۱۲]. علاوه بر این، مطالعات دیگر فقدان این اثرات را گزارش کرده‌اند. همچنین گروهی نیز تناقض‌های موجود را ناشی از تاثیر مثبت عدم کنترل حرارت در این مطالعات دانسته‌اند [۱۲۳-۱۱۲].

همچنین در زمینه امکان وجود سرطان ناشی از قرارگیری در معرض میدان امواج RF، آنتن‌های BTS و پارازیت، در بین شماری از مدل‌های تجربی از جمله زیست‌سنجی کلاسیک جوندگان، مطالعات روی حیوانات با ژنتیک مستعد، مطالعات شامل قرارگیری همزمان در RF و مواد سرطان‌زا و مطالعاتی که اثرات را روی پیشرفت تومور پس از پیوند ارزیابی می‌کنند؛ به غیر از چند مورد محدود، در سایر مطالعات، شواهدی از اثرات سرطان‌زایی RF مشاهده نشده است [۱۷۴-۱۴۸ و ۱۰۹]. بیشتر یافته‌های مثبت در مطالعات اولیه می‌باشد که به دلیل کاستی در مواد و روش‌ها و گزارش اعتبار چندانی نداشتند. در مطالعات سال‌های اخیر که بطور کلی از کیفیت بالایی نیز برخوردار می‌باشد، همواره فقدان اثرات سرطان‌زا در انواع مختلفی از مطالعات حیوانی گزارش شده است. این مطالعات شامل بررسی‌هایی از قرارگیری در معرض RF هم در دوران جنینی و هم پس از تولد بودند. بطور کلی نتایج این مطالعات تا حدودی موید این مطلب است که اثرات سرطان‌زایی در سطوح SAR<sup>۱</sup> تا ۴ Wkg<sup>-1</sup> محتمل نیست.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله تشکر و قدردانی خود را از مرکز تحقیقات کاربردی بهداشتی کل ناجا که حمایت مالی این پروژه را به عهده داشته اعلام نموده، همچنین از ریاست و کارکنان این سازمان که در انجام این مطالعه با تیم تحقیق همکاری داشتند کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

<sup>۱</sup> ضریب جذب (SAR) که مخفف Specific Absorption Rate بوده عبارت می‌باشد از مقدار فرکانس رادیویی جذب شده توسط بدن در یک محیط الکترومغناطیسی می‌باشد. واحد SAR وات بر کیلوگرم (Watt/kg) می‌باشد که نشان دهنده این است که در هر ثانیه چند ژول انرژی توسط یک کیلوگرم از بدن یک موجود زنده جذب می‌گردد.

- the effect of using mobile phones on male fertility. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2007; 14: 169-72.
16. De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One* 2009; 4: e6446.
  17. Mailankot M, Kunnath AP, Jayalekshmi H, Koduru B, Valsalan R. Radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMR) from GSM (0.9/1.8 GHz) mobile phones induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats. *Clinics* 2009; 64: 561-5.
  18. Kesari KK, Kumar S, Behari J. Effects of radiofrequency electromagnetic wave exposure from cellular phones on the reproductive pattern in male Wistar rats. *Applied biochemistry and biotechnology* 2010; 164: 546-59
  19. Otitolaju A, Obe I, Adewale O, Otubanjo O, Osunkalu V. Preliminary study on the induction of sperm head abnormalities in mice, *Mus musculus*, exposed to radiofrequency radiations from global system for mobile communication base stations. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 2010; 84: 51-4.
  20. Salama N, Kishimoto T, Kanayama Ho. Retracted: Effects of exposure to a mobile phone on testicular function and structure in adult rabbit. *International journal of andrology* 2010; 33: 88-94.
  21. Falzone N, Huyser C, Becker P, Leszczynski D, Franken DR. The effect of pulsed 900 MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa. *International journal of andrology* 2011; 34: 20-6.
  22. Meo SA, Arif M, Rashied S, Khan M, Vohra M, Usmani A, et al. Hypospermatogenesis and spermatozoa maturation arrest in rats induced by mobile phone radiation. *J Coll Physicians Surg Pak* 2011; 21: 262-5.
  23. Kesari KK, Behari J. Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: Role of ROS. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2012; 31: 213-22.
  24. Kesari KK, Kumar S, Nirala J, Siddiqui MH, Behari J. Biophysical evaluation of radiofrequency electromagnetic field effects on male reproductive pattern. *Cell biochemistry and biophysics* 2013; 65: 85-96.
  25. Shahbazi-Gahrouei D, Karbalae M, Moradi Ha, Baradaran-Ghahfarokhi M. Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2013: 1-5.
  26. Tas M, Dasdag S, Akdag MZ, Cirit U, Yegin K, Seker U, et al. Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality. *Electromagnetic biology and medicine* 2013: 1-7.
  27. Ciaravino V, Meitz ML, Erwin DN. Effects of radiofrequency radiation and simultaneous exposure with mitomycin C on the frequency of sister chromatid exchanges in Chinese hamster ovary cells. *Environmental mutagenesis* 1987; 9: 393-9.
  28. Meltz ML, Walker KA, Erwin DN. Radiofrequency (microwave) radiation exposure of mammalian cells during UV-induced DNA repair synthesis. *Radiation research* 1987; 110: 255-66.
  29. Kerbacher JJ, Meltz ML, Erwin DN. Influence of radiofrequency radiation on chromosome aberrations in CHO cells and its interaction with DNA-damaging agents. *Radiation research* 1990; 123: 311-9.
  30. Meltz ML, Eagan P, Erwin DN. Proflavin and microwave radiation: absence of a mutagenic interaction. *Bioelectromagnetics* 1990; 11: 149-57.
  31. Ciaravino V, Meltz ML, Erwin DN. Absence of a synergistic effect between moderate power radio frequency electromagnetic radiation and adriamycin on cell cycle progression and sister chromatid exchange. *Bioelectromagnetics* 1991; 12: 289-98.
  32. Maes A, Collier M, Slaets D, Verschaeve L. Cytogenetic Effects of Microwaves from Mobile Communication Frequencies (954 Mhz). *Electromagnetobiology* 1995; 14: 91-8.
  33. Maes A, Collier M, Slaets D, Verschaeve L. 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. *Environmental and molecular mutagenesis* 1996; 28: 26-30.
  34. Antonopoulos A, Eisenbrandt H, Obe G. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 1997; 395: 209-14.
  35. Eberle P, Erdtmann-Vourliotis M, Diener S, Finke H-G, Löffelholz B, Schnor A, et al. Cell proliferation, sister-chromatid exchange, chromosomal aberrations, micronuclei and mutation rate of the HGPRT locus following the exposure of human peripheral lymphocytes to electromagnetic high-frequency fields (440 MHz, 900 MHz, and 1.8 GHz) In: *Electromagnetic compatibility of biological systems*. Brinkmann K, Friedrich G (eds). VDE-Verlag GMBH. Berlin-Offenbach 1997.
  36. Maes A, Collier M, Van Gorp U, Vandoninck S, Verschaeve L. Cytogenetic effects of 935.2-MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 1997; 393: 151-6.
  37. Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF, Roti JLR. Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiation research* 1997; 148: 608-17.
  38. MELTZ NMM, MA WITTLER V. Proliferation and cytogenetic studies in human blood lympho-

- cytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *International Journal of Radiation Biology* 1997; 72: 751-7.
39. Gos P, Eicher B, Kohli J, Heyerl W-D. the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 515-23.
  40. Leal BZ, Szilagyi M, Prihoda TJ, Meltz ML. Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiation research* 2000; 153: 479-86.
  41. Maes A, Collier M, Verschaeve L. Cytogenetic investigations on microwaves emitted by a 455.7 MHz car phone. *Folia Biologica* 2000; 46: 175.
  42. Li L, Bisht KS, LaGroye I, Zhang P, Straube WL, Moros EG, et al. Measurement of DNA damage in mammalian cells exposed in vitro to radiofrequency fields at SARs of 3-5 W/kg. *Radiation research* 2001; 156: 328-32.
  43. Maes A, Collier M, Verschaeve L. Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 91-6.
  44. Bisht KS, Moros EG, Straube WL, Baty JD, Roti JLR. The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T1/2 cells. *Radiation research* 2002; 157: 506-15.
  45. d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 7-13.
  46. McNamee J, Bellier P, Gajda G, Miller S, Lemay E, Lavallee B, et al. DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Radiation research* 2002; 158: 523-33.
  47. Miyakoshi J, Yoshida M, Tarusawa Y, Nojima T, Wake K, Taki M. Effects of high-frequency electromagnetic fields on DNA strand breaks using comet assay method. *Electrical Engineering in Japan* 2002; 141: 9-15.
  48. Takahashi S, Inaguma S, Cho Y-M, Imaida K, Wang J, Fujiwara O, et al. Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of Big Blue mice. *Cancer Research* 2002; 62: 1956-60.
  49. Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 113-26.
  50. McNamee J, Bellier P, Gajda G, Lavallee B, Marro L, Lemay E, et al. No evidence for genotoxic effects from 24 h exposure of human leukocytes to 1.9 GHz radiofrequency fields. *Radiation research* 2003; 159: 693-7.
  51. Sasser LB, Morris JE, Wilson BW, Anderson LE. Genotoxic potential of 1.6 GHz wireless communication signal: in vivo two-year bioassay. *Radiation research* 2003; 159: 558-64.
  52. Zeni O, Chiavoni AS, Sannino A, Antolini A, Forigo D, Bersani F, et al. Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation research* 2003; 160: 152-8.
  53. Figueiredo AB, Alves RN, Ramalho AT. Cytogenetic analysis of the effects of 2.5 and 10.5 GHz microwaves on human lymphocytes. *Genetics and Molecular Biology* 2004; 27: 460.
  54. Hook GJ, Zhang P, Lagroye I, Li L, Higashikubo R, Moros EG, et al. Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation. *Radiation research* 2004; 161: 193-200.
  55. Lagroye I, Anane R, Wettring B, Moros E, Straube W, Laregina M, et al. Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *International Journal of Radiation Biology* 2004; 80: 11-20.
  56. Lagroye I, Hook G, Wettring B, Baty J, Moros E, Straube W, et al. Measurements of alkali-labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450 MHz microwave and low-dose gamma irradiation in vitro. *Radiation research* 2004; 161: 201-14.
  57. Obe G. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation. *Radiation research* 2004; 162: 481-96.
  58. Ono T, Saito Y, Komura J, Ikehata H, Tarusawa Y, Nojima T, et al. Absence of mutagenic effects of 2.45 GHz radiofrequency exposure in spleen. *Tohoku J Exp Med* 2004; 202: 93-103.
  59. Sarimov R, Malmgren LO, Marková E, Persson BR, Belyaev IY. Nonthermal GSM microwaves affect chromatin conformation in human lymphocytes similar to heat shock. *Plasma Science, IEEE Transactions on* 2004; 32: 1600-8.
  60. Aitken R, Bennetts L, Sawyer D, Wiklendt A, King B. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *International journal of andrology* 2005; 28: 171-9.
  61. Gortlitz B-D, Müller M, Ebert S, Hecker H, Kuster N, Dasenbrock C. Effects of 1-week and 6-week exposure to GSM/DCS radiofrequency radiation on micronucleus formation in B6C3F1 mice. *Radiation research* 2005; 164: 431-9.
  62. Komatsubara Y, Hirose H, Sakurai T, Koyama S, Suzuki Y, Taki M, et al. Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2005; 587: 114-9.
  63. Nicolova P, Jotova N, Peshev P, Boeva N, Stoikova E. For ultrasonic diagnostics and X-ray investiga-



- tions of abdominal organs. *Modern Medicine* 2005; 22.
64. Wang J, Sakurai T, Koyama S, Komatubara Y, Suzuki Y, Taki M, et al. Effects of 2450 MHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on methylcholanthrene-induced transformation in C3H10T1/2 cells. *Journal of radiation research* 2005; 46: 351-61.
65. Zeni O, Romano M, Perrotta A, Lioi M, Barbieri R, d'Ambrosio G, et al. Evaluation of genotoxic effects in human peripheral blood leukocytes following an acute in vitro exposure to 900 MHz radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 258-65.
66. Belyaev IY, Koch CB, Terenius O, Roxström Lindquist K, Malmgren LO, H Sommer W, et al. Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 295-306.
67. Chemeris N, Gapeyev A, Sirota N, Gudkova OY, Tankanag A, Konovalov I, et al. Lack of direct DNA damage in human blood leukocytes and lymphocytes after in vitro exposure to high power microwave pulses. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 197-203.
68. Sakuma N, Komatsubara Y, Takeda H, Hirose H, Sekijima M, Nojima T, et al. DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1325 GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 51-7.
69. Sannino A, Calabrese ML, d'Ambrosio G, Massa R, Petraglia G, Mita P, et al. Evaluation of cytotoxic and genotoxic effects in human peripheral blood leukocytes following exposure to 1950-MHz modulated signal. *Plasma Science, IEEE Transactions on* 2006; 34: 1441-8.
70. Verschaeve L, Heikkinen P, Verheyen G, Van Gorp U, Boonen F, Vander Plaetse F, et al. Investigation of co-genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields in vivo. *Radiation research* 2006; 165: 598-607.
71. Zhang D, Xu Z, Chiang H, Lu D, Zeng Q. Effects of GSM 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields on DNA damage in Chinese hamster lung cells]. *Zhonghua yu fang yi xue za zhi [Chinese journal of preventive medicine]* 2006; 40: 149.
72. Baohong W, Lifan J, Lanjuan L, Jianlin L, Deqiang L, Wei Z, et al. Evaluating the combinative effects on human lymphocyte DNA damage induced by Ultraviolet ray C plus 1.8 GHz microwaves using comet assay in vitro. *Toxicology* 2007; 232: 311-6.
73. Juutilainen J, Heikkinen P, Soikkeli H, Mäki-Paakkanen J. Micronucleus frequency in erythrocytes of mice after long-term exposure to radiofrequency radiation. *International Journal of Radiation Biology* 2007; 83: 213-20.
74. Speit G, Schütz P, Hoffmann H. Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2007; 626: 42-7.
75. Speit G, Schütz P, Hoffmann H. Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutation Res* 2007; 626: 42-7.
76. Zeni O, Schiavoni A, Perrotta A, Forigo D, Deplano M, Scarfi M. Evaluation of genotoxic effects in human leukocytes after in vitro exposure to 1950 MHz UMTS radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 2008; 29: 177-84.
77. Mazor R, Korenstein-Ilan A, Barbul A, Eshet Y, Shahadi A, Jerby E, et al. Increased levels of numerical chromosome aberrations after in vitro exposure of human peripheral blood lymphocytes to radiofrequency electromagnetic fields for 72 hours. *Radiation Research* 2009; 169: 9.
78. McNamee J, Bellier P, Gajda G, Lavallee B, Lemay E, Marro L, et al. DNA damage in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiation Research* 2009; 158: 4.
79. Sykes PJ, McCallum BD, Bangay MJ, Hooker AM, Morley AA. Effect of exposure to 900 MHz radiofrequency radiation on intrachromosomal recombination in pKZ1 mice. *Radiation Research* 2009; 156: 12.
80. Scarfi M, Lioi M, d'Ambrosio G, Massa R, Zeni O, De pietro R, et al. Genotoxic effects of mytomicin-C and microwave radiation on bovine lymphocytes. *Electro-Magnetobiology* 1996; 15: 99-104.
81. Meltz ML, Eagan P, Erwin DN. Absence of mutagenic interaction between microwaves and mitomycin C in mammalian cells. *Environmental and molecular mutagenesis* 1989; 13: 294-303.
82. Garaj-Vrhovac V, Horvat D, Koren Z. The effect of microwave radiation on the cell genome. *Mutation Research Letters* 1990; 243: 87-93.
83. Garaj-Vrhovac V, Fučić A, Horvat D. The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutation Research Letters* 1992; 281: 181-6.
84. Maes A, Verschaeve L, Arroyo A, De Wagter C, Vercruyssen L. In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 495-501.
85. Sarkar S, Ali S, Behari J. Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. *Mutation Research/Genetic Toxicology* 1994; 320: 141-7.

86. Lai H, Singh NP. Acute low intensity microwave exposure increases DNA single strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 207-10.
87. Garaj-Vrhovac V, Vojvodic S, Fucic A, Kubelka D, editors. Effects of 415 MHz frequency on human lymphocyte genome. *Proceedings IRPA9 Congress*. Vienna, Austria; 1996.
88. Lai H, Singh NP. Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 156-65.
89. Vijayalaxmi, Frei MR, Dusch SJ, Guel V, Meltz ML, Jauchem JR. Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiation research* 1997; 147: 495-500.
90. Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, LaRegina M, Pickard WF, et al. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiation research* 1998; 149: 637-45.
91. Phillips JL, Ivaschuk O, Ishida-Jones T, Jones RA, Campbell-Beachler M, Haggren W. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 1998; 45: 103-10.
92. Prihoda T. Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to ultra-wideband electromagnetic radiation. *int j radiat biol* 1999; 75: 115-20.
93. Zotti-Martelli L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L. Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2000; 472: 51-8.
94. Vijayalaxmi PW, Bisht K, Prihoda T, Meltz M, LaRegina M, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG. Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int J Radiat Biol*, 2001c 2001; 77: 1109-15.
95. Mei-Bian Z, Ji-Liang H, Li-Fen J, De-Qiang L. Study of low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. *BES* 2002; 15: 8.
96. Trosic I, Busljeta I, Kasuba V, Rozgaj R. Micronucleus induction after whole-body microwave irradiation of rats. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2002; 521: 73-9.
97. Koyama S, Nakahara T, Wake K, Taki M, Isozumi Y, Miyakoshi J. Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2003; 541: 81-9.
98. Mashevich M, Folkman D, Kesar A, Barbul A, Korenstein R, Jerby E, et al. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 82-90.
99. Chemeris NK, Gapeyev AB, Sirota NP, Gudkova OY, Kornienko NV, Tankanag AV, et al. DNA damage in frog erythrocytes after in vitro exposure to a high peak-power pulsed electromagnetic field. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2004; 558: 27-34.
100. George D, Dimitris V. Effect of 910-MHz electromagnetic field on rat bone marrow. *The Scientific World Journal* 2004; 4: 48-54.
101. Koyama S, Isozumi Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of 2.45-GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. *The Scientific World Journal* 2004; 4: 29-40.
102. Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger H. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2005; 583: 178-83.
103. Lai H, Singh N. Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on single and double DNA strand breaks in rat brain cells. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2005; 24: 23-9.
104. Marková E, Hillert L, Malmgren L, Persson BR, Belyaev IY. Microwaves from GSM mobile telephones affect 53BP1 and  $\gamma$ -H2AX foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. *Environmental health perspectives* 2005; 113: 1172.
105. Ferreira AR, Knakievicz T, de Bittencourt Pasquali MA, Gelain DP, Dal-Pizzol F, Fernández CER, et al. Ultra high frequency-electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. *Life sciences* 2006; 80: 43-50.
106. Lixia S, Yao K, Kaijun W, Deqiang L, Huajun H, Xiangwei G, et al. Effects of 1.8 GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 2006; 602: 135-42.
107. Paulraj R, Behari J. Protein kinase C activity in developing rat brain cells exposed to 2.45 GHz radiation. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2006; 25: 61-70.
108. Stronati L, Testa A, Moquet J, Edwards A, Cordelli E, Villani P, et al. 935 MHz cellular phone radiation. An in vitro study of genotoxicity in human lymphocytes. *International Journal of Radiation Biology* 2006; 82: 339-46.
109. Balbani APS, Montovani JC. Mobile phones: in-

- fluence on auditory and vestibular systems. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia* 2008; 74: 125-31.
110. Schwarz C, Kratochvil E, Pilger A, Kuster N, Adlkofer F, Rüdiger HW. Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes. *International archives of occupational and environmental health* 2008; 81: 755-67.
  111. Bisht KS, Pickard WF, Meltz ML, Roti JLR, Moros EG. Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiation research* 2009.
  112. Cleary SF, Cao G, Liu LM, Egle PM, Shelton KR. Stress proteins are not induced in mammalian cells exposed to radiofrequency or microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 499-505.
  113. Ivaschuk OI, Jones RA, Ishida Jones T, Haggren W, Adey WR, Phillips JL. Exposure of nerve growth factor-treated PC12 rat pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz: effects on c-jun and c-fos expression. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 223-9.
  114. Gurisik E, Warton K, Martin DK, Valenzuela SM. An in vitro study of the effects of exposure to a GSM signal in two human cell lines: Monocytic U937 and neuroblastoma SK-N-SH. *Cell biology international* 2006; 30: 793-9.
  115. Lantow M, Lupke M, Frahm J, Mattsson M, Kuster N, Simko M. ROS release and Hsp70 expression after exposure to 1,800 MHz radiofrequency electromagnetic fields in primary human monocytes and lymphocytes. *Radiation and environmental biophysics* 2006; 45: 55-62.
  116. Lantow M, Schuderer J, Hartwig C, Simko M. Free radical release and HSP70 expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation. *Radiation research* 2006; 165: 88-94.
  117. Natarajan M, Nayak B, Galindo C, Mathur S, Roland F, Meltz M. Nuclear translocation and DNA-binding activity of NFkB (NF-κB) after exposure of human monocytes to pulsed ultra-wideband electromagnetic fields (1 kV/cm) fails to transactivate κB-dependent gene expression. *Radiation research* 2006; 165: 645-54.
  118. Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of a 2450 MHz highfrequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat shock proteins in A172 cells. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 479-86.
  119. Whitehead T, Moros E, Brownstein B, Roti Roti J. Gene expression does not change significantly in C3H 10T1/2 cells after exposure to 847.74 CDMA or 835.62 FDMA radiofrequency radiation. *Radiation research* 2006; 165: 626-35.
  120. Buttiglione M, Roca L, Montemurno E, Vitiello F, Capozzi V, Cibelli G. Radiofrequency radiation (900 MHz) induces Egr1 gene expression and affects cellcycle control in human neuroblastoma cells. *Journal of cellular physiology* 2007; 213: 759-67.
  121. Chauhan V, Mariampillai A, Kutzner B, Wilkins R, Ferrarotto C, Bellier P, et al. Evaluating the biological effects of intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency fields in a series of human-derived cell lines. *Radiation research* 2007; 167: 87-93.
  122. Sanchez S, Haro E, Ruffié G, Veyret B, Lagroye I. In vitro study of the stress response of human skin cells to GSM-1800 mobile phone signals compared to UVB radiation and heat shock. *Radiation research* 2007; 167: 572-80.
  123. Chauhan V, Mariampillai A, Bellier P, Qutob S, Gajda G, Lemay E, et al. Gene expression analysis of a human lymphoblastoma cell line exposed in vitro to an intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiation Research* 2009; 165: 6.
  124. Lai H. Single-and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *International Journal of Radiation Biology* 1996; 69: 513-21.
  125. Goswami PC, Albee LD, Parsian AJ, Baty JD, Moros EG, Pickard WF, et al. Proto-oncogene mRNA levels and activities of multiple transcription factors in C3H 10T 1/2 murine embryonic fibroblasts exposed to 835.62 and 847.74 MHz cellular phone communication frequency radiation. *Radiation research* 1999; 151: 300-9.
  126. Harvey C, French PW. Effects on protein kinase C and gene expression in a human mast cell line, HMC-1, following microwave exposure. *Cell biology international* 1999; 23: 739-48.
  127. Kwee S, Raskmark P, Velizarov S. Changes in cellular proteins due to environmental non-ionizing radiation. I. Heat-shock proteins. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2001; 20: 141-52.
  128. Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 2002; 70: 120-9.
  129. Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncology Research Featuring Preclinical and Clinical Cancer Therapeutics* 2002; 13: 19-24.
  130. Tian F, Nakahara T, Wake K, Taki M, Miyakoshi

- J. Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells. *International Journal of Radiation Biology* 2002; 78: 433-40.
131. Capri M, Scarcella E, Bianchi E, Fumelli C, Me-sirca P, Agostini C, et al. 1800 MHz radiofrequency (mobile phones, different Global System for Mobile communication modulations) does not affect apoptosis and heat shock protein 70 level in peripheral blood mononuclear cells from young and old donors. *International Journal of Radiation Biology* 2004; 80: 389-97.
132. Czyn J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schoenborn F, et al. High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. *Bioelectromagnetics* 2004; 25: 296-307.
133. Leszczynski D, Nylund R, Joenväärä S, Reivinen J. Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation. *Proteomics* 2004; 4: 426-31.
134. Nylund R, Leszczynski D. Proteomics analysis of human endothelial cell line EA. hy926 after exposure to GSM 900 radiation. *Proteomics* 2004; 4: 1359-65.
135. Caraglia M, Marra M, Mancinelli F, D'ambrosio G, Massa R, Giordano A, et al. Electromagnetic fields at mobile phone frequency induce apoptosis and inactivation of the multi chaperone complex in human epidermoid cancer cells. *Journal of cellular physiology* 2005; 204: 539-48.
136. Lee S, Johnson D, Dunbar K, Dong H, Ge X, Kim YC, et al. 2.45 GHz radiofrequency fields alter gene expression in cultured human cells. *FEBS letters* 2005; 579: 4829-36.
137. Lim HB, Cook GG, Barker AT, Coulton LA. Effect of 900 MHz electromagnetic fields on nonthermal induction of heat-shock proteins in human leukocytes. *Radiation research* 2005; 163: 45-52.
138. Miyakoshi J, Takemasa K, Takashima Y, Ding GR, Hirose H, Koyama S. Effects of exposure to a 1950 MHz radio frequency field on expression of Hsp70 and Hsp27 in human glioma cells. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 251-7.
139. Huang TQ, Lee MS, Bae YJ, Park HS, Park WY, Sun SJ. Prediction of Exposure to 1763MHz Radiofrequency Radiation Using Support Vector Machine Algorithm in Jurkat Cell Model System. *Genomics & Informatics* 2006; 4: 71-6.
140. Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome-and proteome-dependent. *Proteomics* 2006; 6: 4769-80.
141. Qutob S, Chauhan V, Bellier P, Yauk C, Douglas G, Berndt L, et al. Microarray gene expression profiling of a human glioblastoma cell line exposed in vitro to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiation research* 2006; 165: 636-44.
142. Remondini D, Nylund R, Reivinen J, Poullietier de Gannes F, Veyret B, Lagroye I, et al. Gene expression changes in human cells after exposure to mobile phone microwaves. *Proteomics* 2006; 6: 4745-54.
143. Zeng Q, Chen G, Weng Y, Wang L, Chiang H, Lu D, et al. Effects of Global System for Mobile Communications 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields on gene and protein expression in MCF7 cells. *Proteomics* 2006; 6: 4732-8.
144. Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem J* 2007; 405: 559-68.
145. Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Nakayama K, Inoue K, Sekijima M, et al. Mobile phone base station emitted radiation does not induce phosphorylation of Hsp27. *Bioelectromagnetics* 2007; 28: 99-108.
146. Zhao R, Zhang S, Xu Z, Ju L, Lu D, Yao G. Studying gene expression profile of rat neuron exposed to 1800MHz radiofrequency electromagnetic fields with cDNA microassay. *Toxicology* 2007; 235: 167-75.
147. Zhao T-Y, Zou S-P, Knapp PE. Exposure to cell phone radiation up-regulates apoptosis genes in primary cultures of neurons and astrocytes. *Neuroscience letters* 2007; 412: 34-8.
148. Lahkola A, Tokola K, Auvinen A. Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumors. *Scandinavian journal of work, environment & health* 2006: 171-7.
149. Merola P, Marino C, Lovisolo G, Pinto R, Laconi C, Negroni A. Proliferation and apoptosis in a neuroblastoma cell line exposed to 900 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 164-71.
150. Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, et al. Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occupational and Environmental Medicine* 2006; 63: 802-7.
151. Blettner M, Schlehofer B, Samkange-Zeeb F, Berg G, Schlaefel K, Schüz J. Medical exposure to ionising radiation and the risk of brain tumours: Interphone study group, Germany. *European Journal of Cancer* 2007; 43: 1990-8.
152. Shirai T, Ichihara T, Wake K, Watanabe Si, Yamanaka Y, Kawabe M, et al. Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95 GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. *Bioelectromagnetics* 2007; 28: 562-72.
153. Hirose H, Suhara T, Kaji N, Sakuma N, Sekijima M, Nojima T, et al. Mobile phone base station radi-

- ation does not affect neoplastic transformation in BALB/3T3 cells. *Bioelectromagnetics* 2008; 29: 55-64.
154. Kan P, Simonsen SE, Lyon JL, Kestle JR. Cellular phone use and brain tumor: a meta-analysis. *Journal of Neuro-oncology* 2008; 86: 71-8.
155. Kaprana A, Karatzanis A, Prokopakis E, Panagiotaki I, Vardiambasis I, Adamidis G, et al. Studying the effects of mobile phone use on the auditory system and the central nervous system: a review of the literature and future directions. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2008; 265: 1011-9.
156. Moquet J, Ainsbury E, Bouffler S, Lloyd D. Exposure to low level GSM 935 MHz radiofrequency fields does not induce apoptosis in proliferating or differentiated murine neuroblastoma cells. *Radiation protection dosimetry* 2008; 131: 287-96.
157. Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, et al. Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. *British journal of cancer* 2008; 98: 652-9.
158. Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA, Swerdlow AJ. Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: a review. *Epidemiology* 2009; 20: 639-52.
159. Billaudel B, Taxile M, Poullietier de Gannes F, Ruffie G, Lagroye I, Veyret B. Effects of exposure to DAMPS and GSM signals on ornithine decarboxylase (ODC) activity: II. SH-SY5Y human neuroblastoma cells. *International Journal of Radiation Biology* 2009; 85: 519-22.
160. Daniels WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV. The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metabolic brain disease* 2009; 24: 629-41.
161. Schuz J, Böhler E, Schlehofer B, Berg G, Schläefer K, Hettinger I, et al. Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Radiation Research* 2009; 166: 4.
162. Thorlin T, Rouquette J-M, Hamnerius Y, Hansson E, Persson M, Björklund U, et al. Exposure of cultured astroglial and microglial brain cells to 900 MHz microwave radiation. *Radiat Res* 2009; 166: 13.
163. Bayazit V, Bayram B, Pala Z, Atan O. Evaluation of carcinogenic effects of electromagnetic fields (EMF). *Bosn J Basic Med Sci* 2010; 10: 245-50.
164. Cardis E, Deltour I, Vrijheid M, Evrard A, Moissonnier M, Armstrong B, et al. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the interphone international case-control study. *Cancer epidemiology* 2011; 35.
165. De Vocht F, Burstyn I, Cherrie JW. Time trends (1998-2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 334-9.
166. Juutilainen J, Höytö A, Kumlin T, Naarala J. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 511-34.
167. Larjavaara S, Schüz J, Swerdlow A, Feychting M, Johansen C, Lagorio S, et al. Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis. *American Journal of Epidemiology* 2011; 174: 2-11.
168. Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N. A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 85-93.
169. Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Kheifets L, Savitz DA. Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now? *Environmental health perspectives* 2011; 119: 1534.
170. Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Sankila R, et al. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. *Epidemiology* 2012; 23: 301-7.
171. Li C-Y, Liu C-C, Chang Y-H, Chou L-P, Ko M-C. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Science of the Total Environment* 2012; 435: 472-8.
172. Little M, Rajaraman P, Curtis R, Devesa S, Inskip P, Check D, et al. Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. *BMJ: British Medical Journal* 2012; 344.
173. Repacholi MH, Lerchl A, Rössli M, Sienkiewicz Z, Auvinen A, Breckenkamp J, et al. Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics* 2012; 33: 187-206.
174. Gultekin DH, Moeller L. NMR imaging of cell phone radiation absorption in brain tissue. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2013; 110: 58-63.
175. Hardell L, Mild KH, Carlberg M, Hallquist A. Cellular and cordless telephone use and the association with brain tumors in different age groups. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 2004; 59: 132-7.
176. Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Use of cellular telephones and brain tumour risk in urban and rural areas. *Occupational and Environmental Medicine* 2005; 62: 390-4.
177. Bischof F, Langer J, Begall K. Electromagnetic Fields of Mobile Telephone Systems-Thresholds, Effects and Risks for Cochlear Implant Patients and Healthy People. *Laryngo-, Rhino-, Otologie* 2008; 87: 768-74.

178. Hoskote SS, Kapdi M, Joshi SR. An epidemiological review of mobile telephones and cancer. *JAPI* 2008; 56: 980-4.
179. Han Y-Y, Kano H, Davis DL, Niranjana A, Lunsford LD. Cell phone use and acoustic neuroma: the need for standardized questionnaires and access to industry data. *Surgical neurology* 2009; 72: 216-22.
180. Hardell L, Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours. *International journal of oncology* 2009; 35: 5-17.
181. Hartikka H, Heinävaara S, Mäntylä R, Kähärä V, Kurtio P, Auvinen A. Mobile phone use and location of glioma: A case-case analysis. *Bioelectromagnetics* 2009; 30: 176-82.
182. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, Carlberg M. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surgical neurology* 2009; 72: 205-14.
183. Schuz J. Lost in laterality: interpreting "preferred side of the head during mobile phone use and risk of brain tumour" associations. *Scandinavian journal of public health* 2009; 37: 664-7.
184. Inskip PD, Hoover RN, Devesa SS. Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro-oncology* 2010; 12: 1147-51.
185. Khurana VG, Hardell L, Everaert J, Bortkiewicz A, Carlberg M, Ahonen M. Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. *International journal of occupational and environmental health* 2010; 16: 263-7.
186. Yakymenko I, Sidorik E. Risks of carcinogenesis from electromagnetic radiation of mobile telephony devices. *Exp Oncol* 2010; 32: 54-60.
187. Cardis E, Armstrong B, Bowman J, Giles G, Hours M, Krewski D, et al. Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. *Occupational and Environmental Medicine* 2011; 68: 631-40.
188. Lehrer S, Green S, Stock RG. Association between number of cell phone contracts and brain tumor incidence in nineteen US States. *Journal of Neuro-oncology* 2011; 101: 505-7.
189. Levis AG, Minicuci N, Ricci P, Gennaro V, Garbisa S. Mobile phones and head tumours. The discrepancies in cause-effect relationships in the epidemiological studies-how do they arise? *Environmental Health* 2011; 10: 59.
190. Olsen J. The interphone study: Brain cancer and beyond. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 164-7.
191. Ostrom QT, Barnholtz-Sloan JS. Current state of our knowledge on brain tumor epidemiology. *Current neurology and neuroscience reports* 2011; 11: 329-35.
192. Schuz J, Steding-Jessen M, Hansen S, Stangerup S-E, Cayé-Thomasen P, Poulsen AH, et al. Long-term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. *American Journal of Epidemiology* 2011; 174: 416-22.
193. Corona AP, Ferrite S, da Silva Lopes M, Rêgo MAV. Risk Factors Associated With Vestibular Nerve Schwannomas. *Otology & Neurotology* 2012; 33: 459-65.
194. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Use of mobile phones and cordless phones is associated with increased risk for glioma and acoustic neuroma. *Pathophysiology* 2012.
195. Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V, Green J. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *International journal of epidemiology* 2013.
196. De Vocht F, Hannam K, Buchan I. Environmental risk factors for cancers of the brain and nervous system: the use of ecological data to generate hypotheses. *Occupational and Environmental Medicine* 2013; 70: 349-56.
197. Kesari KK, Siddiqui MH, Meena R, Verma H, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian journal of experimental biology* 2013; 51.