©2017 ASP Ins., *Afarand Scholarly Publishing Institute, Iran*
ISSN: 2252-0805 *Horizon of Medical Sciences 2017;23(1):7-12*

Effect of Static Magnetic Field on the Rate of Proliferation and Viability in HeLa Cancer Cells and Normal Fibroblasts

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Shams E.* *BSc,*
Javani Jouni F.[1] *PhD,*
Zafari J.[2] *MSc,*
Monajemi R.[3] *PhD,*
Abdolmaleki P.[4] *PhD*

How to cite this article
Shams E, Javani Jouni F, Zafari J, Monajemi R, Abdolmaleki P. Effect of Static Magnetic Field on the Rate of Proliferation and Viability in HeLa Cancer Cells and Normal Fibroblasts. Horizon of Medical Sciences. 2017;23(1):7-12.

ABSTRACT

Aims The increasing use of the electromagnetic devices in daily life leads to higher electromagnetic filed effects. The effects on the organic systems are contradictory and controversial. The aim of this study was to investigate the effects of different intensities and durations of the static magnetic fields on the living cells and their proliferation rate.
Materials & Methods In the applied study, two HeLa cancer cell lines and human fibroblast natural cells were studied. At first, the cells were cultured on DMEN medium. Three magnetic intensities (7, 14, and 21T) and two durations (24 and 48h) were used, and the cells were treated by static magnetic field. The living cell percentage and cell proliferation rate were assessed by MTT method. Trypan blue was used in staining. And an optical microscope was used in enumeration. Data was analyzed by Graphpad Prism 5 using one-way ANOVA.
Findings The higher the static magnetic field and the more the duration were, the lesser the percentage of living cells and cell proliferation, showing a significant reduction in the HeLa cancer cells, while it was insignificant in the fibroblast natural cells. The highest reduction in the living cell percentage and cell proliferation rate was in 48-hour 21T ($p<0.05$).
Conclusion The static magnetic field affects the HeLa cancer cells more than the fibroblast cells. The higher the field intensity and the more the duration are, the lesser the alive cell percentage and cell proliferation rate.

Keywords Magnetic Field Therapy; HeLa Cells; Fibroblast

*Young Researchers and Elite Club, Felaverjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[1]Microbiology Department, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]"Toxicology Research Center" and "Toxicology Department, Pharmacy School", Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
[3]Biology Department, Felaverjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[4]Biophysics Department, of Biological Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Correspondence
Address: Young Researchers and Elite Club, Islamic Azad University, Daneshgah Boulevard, Basij Boulevard, Falavarjan, Isfahan, Iran. Post Box: 155/84515
Phone: +98 (31) 37420134
Fax: +98 (31) 37432601
e.shams88@yahoo.com

Article History
Received: July 23, 2016
Accepted: September 7, 2016
ePublished: January 19, 2017

CITATION LINKS

[1] Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of ... [2] Biological effects due to weak magnetic field on ... [3] Static and ELF magnetic fields induce tumor growth inhibition and ... [4] Static magnetic fields for the treatment ... [5] Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in Escherichia ... [6] Teratogenic effects of static magnetic field on mouse ... [7] Rapporteur report: Cellular, animal and epidemiological studies of the effects of static magnetic fields relevant to human ... [8] Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade: Effects on calcium influx and ... [9] Induction of stress proteins by electromagnetic fields in ... [10] Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco ... [11] Cytotoxic effect of boswelliaserratahydroalcholic extract on human cervical carcinoma epithelial ... [12] In-vitro cytotoxicity activity of solanumnigrum extract against HeLa cell line and vero cell ... [13] A novel L1 retrotransposon marker for HeLa cell line ... [14] The Genomic and Transcriptomic Landscape of ... [15] Evaluation of anti-cancer effect of Peganumharmala L hydroalcholic extract on human cervical carcinoma epithelial ... [16] Cyclophosphamide-induced morphological changes in dental root development of ICR ... [17] Investigation of curcumin effects on liver tissue in adult male rats treated with ... [18] Studying the effect of static ... [19] The effect of low-frequency electromagnetic fields on some biological a ctivities of ... [20] Participation of target Fas protein in apoptosis pathway induced by CD4+ Th1 and CD8+ cytotoxic ... [21] Static magnetic field of 6 mT induces apoptosis and alters cell cycle in p53 mutant ... [22] Effect of 7 mT static magnetic field and iron ions on rat lymphocytes: apoptosis, necrosis and ... [23] Investigation of the effects of static magnetic ... [24] Magnetic fields increase cell survival by ... [25] Effects of Electromagnetic Field on ... [26] Effects of electromagnetic field on ... [27] Investigation on the effect of static magneticfield up to ... [28] The effect of pulsed electromagnetic ... [29] Magnetic-field-induced DNA strand breaks in ... [30] Repetitive exposure to a 60-Hz ...

Copyright© 2017 ASP Ins. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

اثر میدان مغناطیسی ایستا بر نرخ تکثیر و درصد سلول‌های زنده در سلول‌های سرطانی هلا و فیبروبلاست‌های طبیعی

الهه شمس* BSc
باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد فلاورجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
فاطمه جوانی جونی PhD
گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
جابر ظفری MSc
"مرکز تحقیقات سم‌شناسی" و "گروه سم‌شناسی، دانشکده داروسازی"، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
رامش منجمی PhD
گروه زیست‌شناسی، واحد فلاورجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
پرویز عبدالمالکی PhD
گروه بیوفیزیک، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده
اهداف: تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی با استفاده روزافزون از وسایل الکتریکی و مغناطیسی در زندگی روزمره افراد افزایش قابل توجهی یافته است. اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی در سیستم‌های زیستی ضد و نقیض و بحث‌انگیز است. هدف این مطالعه، بررسی تاثیر میدان مغناطیسی ایستا با شدت‌ها و زمان‌های مختلف بر درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر آنها بود.
مواد و روش‌ها: در این پژوهش کاربردی از دو رده سلول‌های سرطانی هلا و سلول‌های طبیعی فیبروبلاست انسانی استفاده شد. ابتدا این سلول‌ها در محیط کشت DMEM کشت داده شدند. به‌منظور تعیین تاثیر شدت و زمان میدان مغناطیسی ایستا، سه شدت ۷، ۱۴ و ۲۱میلی‌تسلا و دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت انتخاب شد و سلول‌ها تحت تیمار با میدان مغناطیسی ایستا قرار گرفتند. درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر سلولی با روش سنجش قدرت احیای رنگ تترازولیوم بررسی شد. همچنین رنگ‌آمیزی با تریپان‌بلو و شمارش با میکروسکوپ نوری صورت گرفت. داده‌ها با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه و به‌وسیله برنامه Graphpad Prism 5 مورد تحلیل قرار گرفتند.
یافته‌ها: با افزایش زمان و شدت میدان مغناطیسی ایستا، درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر سلول‌ها کاهش یافت که این کاهش در سلول‌های سرطانی هلا معنی‌دار بود، اما در سلول‌های طبیعی فیبروبلاست معنی‌دار نبود. بیشترین کاهش در درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر سلول‌ها در شدت ۲۱میلی‌تسلا به‌مدت ۴۸ ساعت مشاهده شد ($p<0/05$).
نتیجه‌گیری: میدان مغناطیسی ایستا بر سلول‌های سرطانی هلا بیش از سلول‌های فیبروبلاست موثر است و با افزایش مدت و شدت میدان، درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر در سلول‌ها کاهش می‌یابد.
کلیدواژه‌ها: درمان با میدان مغناطیسی، سلول‌های هلا، سلول‌های فیبروبلاست انسانی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۷
*نویسنده مسئول: e.shams88@yahoo.com

مقدمه

میدان مغناطیسی ایستا و متغیر با زمان به‌طور گسترده‌ای در محیط زیست توزیع شده و اثرات آنها جالب توجه هستند. انسان‌ها، حیوانات، گیاهان و تمام موجودات زنده روی کره زمین در این میدان رشد و نمو کرده و از همان ابتدا به آن عادت کرده‌اند. شدت این میدان متفاوت بوده، از ۳۰ تا ۷۰میکروتسلا در نوسان است. با پیشرفت علم و فناوری و گسترش استفاده از میدان‌های مغناطیسی در صنعت، پژوهش، پزشکی و غیره، بحث جدیدی ایجاد می‌شود که در آن شدت میدان مغناطیسی قابل اغماض نیست. در تصویربرداری به‌کمک تشدید میدان مغناطیسی از میدان مغناطیسی با شدت ۱/۵ تا ۳تسلا استفاده می‌شود. شدت این میدان‌های مغناطیسی چند ده‌هزار برابر میدانی است که انسان زندگی خود را با آن شروع نموده و به آن عادت کرده است. یکی از مسایل امروز این است که آیا میدان مغناطیسی می‌تواند بر سیستم‌های زیستی اثر داشته باشد[1, 2]. تاثیر میدان مغناطیسی بر بقای سلول[3]، تمایز[4]، تکثیر[5]، ناهنجاری‌های فنوتیپی در جنین موش[6]، برهم‌زدن غلظت یون‌های سدیم[7] و کلسیم[8] در دو طرف غشا، تحریک سنتز پروتیین[9] و فعالیت آنزیمی[10] بررسی شده است.

سرطان در چند دهه اخیر روند رو به افزایش داشته است. سرطان گردن رحم نوعی بیماری است که در آن رشد بافت بدخیم از ناحیه گردن رحم نشات می‌گیرد و به‌طور نامنظم و فزاینده‌ای تکثیر و منجر به ریزش آن می‌شود. سرطان گردن رحم دومین سرطان شایع زنان در سراسر جهان است[11]. رده سلولی هلای انسانی قدیمی‌ترین سلول مورد استفاده در پژوهش‌های علمی و تحقیقات پزشکی به‌خصوص مطالعات مربوط به سرطان است[12-14].

درمان انواع سرطان‌ها بسیار پیچیده است. در حال حاضر یکی از روش‌های درمانی متداول، شیمی‌درمانی است که دارای اثرات سوء گسترده‌ای است. هدف اصلی در پیشگیری یا درمان سرطان توسط مواد شیمیایی، کندکردن یا مهار فرآیند سرطان‌زایی است[15]. برای مثال به‌منظور درمان سرطان نیاز به استفاده طولانی‌مدت از داروی سنتزی شیمیایی سیکلوفسفامید است[16]. با وجود کاربردهای کلینیکی که در رابطه با مصرف سیکلوفسفامید وجود دارد، ولی عوارض جانبی آن بسیار زیاد است. مصرف این دارو غالباً با کاهش وزن، احساس عدم تعادل، بی‌اشتهایی، حالت تهوع و افسردگی همراه است و نیز از عوارض جانبی دارو می‌توان به کاهش سلول‌های خونی، کاهش عملکرد غدد جنسی، نکروز توبولی و نکروز گسترده میوکارد اشاره کرد[17].

کشف درمان‌های جدید ضدسرطان، با اثربخشی بالا و سمیت کم که به‌صورت انتخابی بر سلول‌ها تاثیر بگذارند، از دغدغه‌های جوامع پزشکی دنیا است. با وجود این شرایط، استفاده از عوامل فیزیکی همچون میدان مغناطیسی می‌تواند مفید باشد.

هدف این مطالعه، بررسی تاثیر میدان مغناطیسی ایستا با شدت‌ها (۷، ۱۴ و ۲۱میلی‌تسلا) و زمان‌های مختلف (۲۴ و ۴۸ ساعت) بر درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر آنها بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش کاربردی، رده سلولی هلا و فیبروبلاست انسانی (Hu02) از انستیتو پاستور ایران خریداری شد. این رده‌های سلولی در محیط کشت DMEM حاوی ۱۰% سرم گاوی (FBS) در فلاسک استریل کشت سلول، کشت و پاساژ داده شدند. فلاسکی که ۷۰% ظرفیت آن به‌وسیله سلول پر شده باشد، برای منجمدکردن سلول‌ها مناسب است. سپس فلاسک حاوی سلول با بافر فسفات نمکی (PBS) استریل شست‌وشو و تریپسینه شد و هنگامی‌که سلول‌ها جدا شدند، به‌منظور خنثی‌کردن تریپسین، سه‌برابر محیط حاوی سرم به فلاسک، محیط کشت کامل اضافه شد. پس از رقت‌سازی و سانتریفیوژ، سلول‌ها شمارش شدند و به‌ازای هر ۱-۲×10^6 سلول، یک‌میلی‌لیتر محیط آماده‌شده مخصوص انجماد، اضافه و سوسپانسیون سلولی در کرایوتیوب‌های استریل ریخته شد و سریعاً به تانک ازت انتقال یافت. روش ذوب‌نمودن بدین صورت بود که کرایوتیوب حاوی سلول از تانک ازت بیرون آورده و در انکوباتور قرار داده شد تا سوسپانسیون سلولی ذوب شود. سپس محتویات کرایوتیوب در لوله فالکون استریل ریخته و میزان

۳میلی‌لیتر محیط DMEM فاقد بافر فسفات به آن اضافه و سانتریفوژ شد، مایع رویی دور ریخته شد و یک‌میلی‌لیتر محیط DMEM تازه حاوی FBS به آن اضافه شد و داخل فلاسک کشت سلول ریخته شد. سپس داخل انکوباتور قرار داده شد تا پس از چند روز شمارش سلولی به حد مطلوب برسد. به‌منظور تیمار سلول‌ها با میدان مغناطیسی، انکوباتوری در داخل میدان تعبیه شد که شرایط مناسب را برای رشد سلول‌ها فراهم کند (دمای ۳۶°C و میزان ۵% CO_2). همچنین برای بررسی میزان نرخ تکثیر و درصد سلول‌های زنده، سلول‌ها در پلیت ۹۶خانه کشت داده شدند.

به‌منظور تعیین تاثیر شدت و زمان میدان مغناطیسی، سه شدت ۷، ۱۴ و ۲۱میلی‌تسلا و دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت انتخاب شد. این زمان‌ها با توجه به اینکه زمان دوبرابر سلول‌های هلا و فیبروبلاست زیر ۲۴ ساعت است، انتخاب شدند. تعداد میانگین کل سلول‌ها نیز به‌عنوان نرخ تکثیر در نظر گرفته شد. سلول‌های بدون تیمار، گروه کنترل محسوب شده و بقیه گروه‌ها با این گروه سنجیده شدند. درصد سلول‌های زنده گروه بدون تیمار ۱۰۰ و نرخ تکثیر گروه بدون تیمار ۱ در نظر گرفته شد.

بررسی سمیت سلولی: برای ارزیابی سمیت سلولی از آزمایش MTT (سنجش قدرت احیای رنگ تترازولیوم) استفاده می‌شود. MTT یک نمک تترازولیوم محلول در آب است. در اثر آنزیم‌های دهیدروژناز میتوکندریایی که فقط در سلول‌های زنده فعال هستند، در حلقه MTT محلول شکستی ایجاد شده و به بلورهای آبی رنگ فورمازان غیرمحلول تبدیل می‌شود. لذا با استفاده از روش نورسنجی در طول موج ۵۷۰–۵۴۰نانومتر میزان فورمازان که توسط دی‌متیل‌سولفوکساید یا حلال‌های دیگر به‌شکل محلول در آمده اندازه‌گیری شده و از طول موج ۶۹۰نانومتر رفراندوم کم شده و بدین وسیله میزان توده سلول‌های زنده تعیین می‌شود. بدین صورت که سلول‌ها در پلیت ۹۶خانه با غلظت‌های مختلف کشت داده شده و برای ۲۴ ساعت در انکوباتور گذاشته شدند. پس از آن به هر چاهک ۱۰میکرولیتر محلول MTT و ۹۰میکرولیتر محیط کشت DMEM اضافه شد و به‌مدت ۴-۳ ساعت در دمای ۳۷°C انکوبه شدند. در این مرحله می‌توان بلورهای فورمازان را توسط میکروسکوپ معکوس در سلول‌های زنده مشاهده نمود. سپس محیط رویی هر چاهک خارج شده و به هر چاهک ۱۰۰میکرولیتر دی‌متیل‌سولفوکساید اضافه شد و جذب نوری توسط دستگاه الایزا ریدر در طول موج ۶۹۰–۵۴۰نانومتر خوانده شد.

دستگاه مولد میدان مغناطیسی ایستا: دستگاه مولد میدان مغناطیسی استفاده‌شده در تحقیق به‌شکل سیم‌لوله و دارای انکوباتور دی‌اکسیدکربن‌دار درون خود بود. منبع تغذیه این دستگاه می‌تواند ولتاژی بین صفر تا ۵۰ولت و جریانی با شدت صفر تا ۲۰آمپر ایجاد کند. حداکثر توان منبع تغذیه یک کیلووات است. بخش سیم‌لوله دستگاه، ۴۰سانتی‌متر طول و ۲۰سانتی‌متر عرض داشته و از ۱۸۰۰ حلقه سیم مسی به‌قطر ۲/۵میلی‌متر درست شده است. درون این سیم‌لوله، انکوباتوری لوله‌ای‌شکل از جنس آلیاژ برنج و به‌قطر ۸سانتی‌متر و طول ۴۰سانتی‌متر قرار گرفته است که مجهز به حسگرهای دمایی مدل pt100 با حساسیت ۰/۱C° (AOIP؛ فرانسه)، رطوبت مدل HiH-3610 با حساسیت ۰/۱% (Honeywell؛ ایالات متحده) و دی‌اکسیدکربن مدل NAP21A (Nemoto؛ ژاپن) است. این دستگاه می‌تواند میدان مغناطیسی ایستایی با دامنه ۰/۵میکروتسلا تا ۹۰میلی‌تسلا ایجاد کند و در آن به‌منظور یکنواخت نگه‌داشتن میدان مغناطیسی در هنگام تابش‌دهی، مدار الکتریکی ویژه‌ای به‌کار رفته است. به‌منظور کالیبراسیون دستگاه و بررسی یکنواختی میدان مغناطیسی ایجادشده توسط آن، از تسلامتر مدل ۱۳۶۱۰.۹۳ با دقت ۰/۱% (PHYWE؛ آلمان) استفاده شد و هر گونه تغییر در جریان ورودی توسط اسیلوسکوپ ۴۰ MHz مدل ۱۸۰۴۰ (Leader؛ ژاپن) مورد سنجش قرار گرفت.

رنگ‌آمیزی تریپان‌بلو: بعد از هر تیمار، سلول‌ها با PBS شسته و تریپسینه شدند و سوسپانسیون سلولی از هر گروه آماده شد. برای بررسی نرخ تکثیر سلول، رنگ‌آمیزی با تریپان‌بلو و شمارش سلول‌ها انجام شد.

تحلیل آماری: داده‌ها با حداقل سه تکرار مستقل به‌صورت میانگین آماری ارایه شدند و مقایسه داده‌ها با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه صورت گرفت. نتایج II_{50} (شدت مهار ۵۰% سلول‌ها) به‌وسیله برنامه Graphpad Prism 5 محاسبه شد.

یافته‌ها

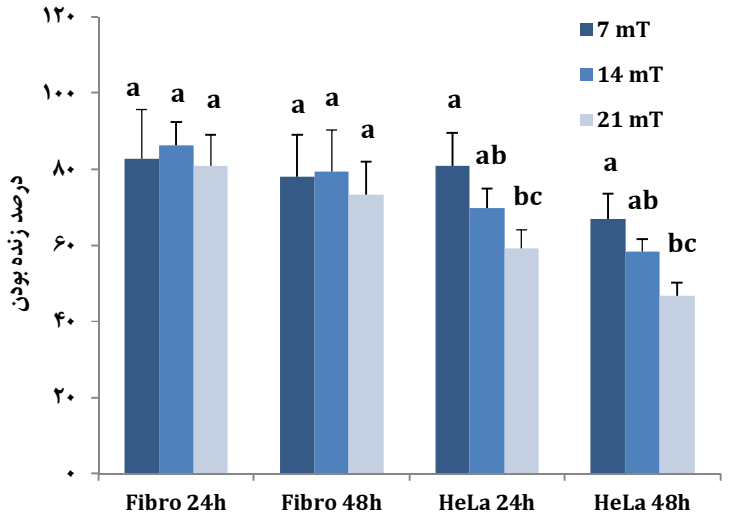
با افزایش زمان و شدت میدان مغناطیسی ایستا، درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر سلول‌ها کاهش یافت که این کاهش در سلول‌های سرطانی هلا معنی‌دار بود، اما در سلول‌های طبیعی فیبروبلاست معنی‌دار نبود. بیشترین کاهش در درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر سلول‌ها در شدت ۲۱میلی‌تسلا به‌مدت ۴۸ ساعت مشاهده شد ($p<0/05$؛ نمودارهای ۱ و ۲).

مقدار II_{50} (شدت مهار ۵۰% سلول‌ها) برای سلول‌های فیبروبلاست در حضور میدان مغناطیسی به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت ۷۵/۹ و ۴۸/۵۱میلی‌تسلا و برای سلول‌های هلا ۳۰/۹ و ۱۷/۵۷میلی‌تسلا بود. بنابراین مقدار II_{50} برای سلول‌های فیبروبلاست بیشتر از مقادیر به‌دست‌آمده برای سلول‌های هلا بود. در نتیجه، سلول‌های هلا در مقایسه با سلول‌های فیبروبلاست نسبت به SMF (میدان مغناطیسی ایستا) حساس‌تر بودند.

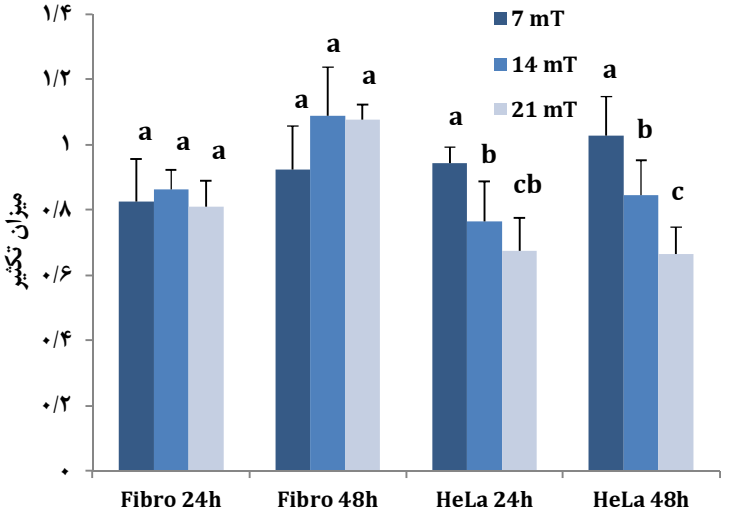
بحث

در جوامع پیشرفته امروزی انسان‌ها و گیاهان در معرض میدان‌های مغناطیسی هستند که معمولاً توسط خطوط انتقال برق فشار قوی و بسیاری از دستگاه‌های الکتریکی ایجاد می‌شوند. بنابراین آدمی همواره در تیررس میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی قرار دارد[18]. میزان جذب و نفوذ انرژی تشعشعات این میدان‌ها به فرکانس، نوع تشعشعات و نوع بافتی که آن را جذب می‌کند، بستگی دارد[19].

یکی از فرآیندهایی که در موجودات زنده تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، آپوپتوز است. آپوپتوز بخشی از فیزیولوژی سلول است که در سلول‌های طبیعی و غیرطبیعی اتفاق می‌افتد. تغییرات ریخت‌شناسی که در زمان آپوپتوز مشاهده می‌شود، عبارت است از؛ فشردگی سریع سیتوپلاسم و کروماتین، قطعه‌قطعه‌شدن DNA و ایجاد حباب در غشای سلول و به‌دنبال آن قطعه‌قطعه‌شدن سلول و تشکیل اجسام آپوپتوتیک که هر یک دارای بخشی از سیتوپلاسم، مواد هسته‌ای و اندامک‌ها بوده و با غشای سیتوپلاسمی احاطه شده است[20]. آپوپتوز هم به‌صورت خودبه‌خودی و هم به‌صورت القایی متاثر از میدان است. این امر می‌تواند ناشی از تاثیر میدان مغناطیسی بر غشای سلول باشد. در واقع میدان مغناطیسی اولین اثرات خود را روی غشای سلولی به‌جا می‌گذارد و این خود منجر به اثرات بعدی میدان می‌شود. یکی از مکانیزم‌هایی که برای تاثیر میدان مغناطیسی ایستا بر آپوپتوز پیشنهاد شده است، به عبور یون کلسیم از غشا مربوط می‌شود که از پیامدهای تاثیر میدان بر غشای سلولی است.



نمودار ۱) درصد سلول‌های زنده در زمان‌ها (۲۴ و ۴۸ ساعت) و شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی ایستا (۷، ۱۴ و ۲۱میلی‌تسلا). حروف غیریکسان a، b و c نماینده معنی‌داربودن تفاوت در سطح p<۰/۰۵ است.



نمودار ۲) نرخ تکثیر سلول‌ها در زمان‌ها (۲۴ و ۴۸ ساعت) و شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی ایستا (۷، ۱۴ و ۲۱میلی‌تسلا). حروف غیریکسان a، b و c نماینده معنی‌داربودن تفاوت در سطح p<۰/۰۵ است.

پژوهش‌های محققان پیشین نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی ممکن است با تاثیر بر جریانات یون کلسیم از غشای سلول‌های میدان‌دیده و شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد درون سلول‌های میدان‌دیده، روی درصد سلول‌های زنده، نرخ تکثیر و آپوپتوز سلول تاثیر بگذارد. بعضی از گزارش‌ها نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی احتمالاً با ایجاد تغییر در عمل پمپ یون کلسیم-ATPase یا کانال‌های اختصاصی یون کلسیم یا پروتئین‌های پیوندشونده به یون کلسیم، باعث کاهش معنی‌دار این یون می‌شود و این امر، تغییر فرآیند تکثیر سلول‌ها را در پی دارد. بعضی از پژوهش‌ها نیز بیان کرده‌اند که میدان مغناطیسی ممکن است هوموستازی اتم آهن را درون بعضی از سلول‌ها تحت تاثیر قرار داده و موجب افزایش آهن آزاد در سیتوپلاسم و هسته سلول شود. افزایش آهن نیز می‌تواند از طریق واکنش فنتون باعث افزایش رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل شود. حضور رادیکال‌های هیدروکسیل درون سلول، موجب آسیب‌رسانی به مولکول‌های DNA، لیپیدها و پروتئین‌ها می‌شود. آسیب لیپیدهای غشای سلولی ممکن است باعث افزایش خروج یون کلسیم از ذخایر درون‌سلولی و در نتیجه موجب کاهش یون کلسیم در سلول‌های میدان‌دیده شود[21].

برخی از گزارش‌ها نیز اشاره می‌کنند که میدان مغناطیسی به‌تنهایی تاثیری بر لنفوسیت‌ها ندارد، ولی تیمار همزمان لنفوسیت‌ها با کلریدآهن و میدان مغناطیسی ایستای ۷میلی‌تسلا موجب افزایش مولکول‌های DNA آسیب‌دیده شده و سبب مرگ سلول‌ها از طریق آپوپتوز یا نکروز می‌شود[22]. در تحقیقی که تاثیر همزمان میدان مغناطیسی ایستا و یون آهن مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که یون آهن در حضور میدان مغناطیسی ایستا با شدت ۱۵میلی‌تسلا به‌مدت ۵ ساعت باعث افزایش آپوپتوز در سلول‌های بنیادی می‌شود. این پدیده را می‌توان با توجه به نقش آهن در تولید رادیکال‌های آزاد در سلول توجیه کرد. همچنین

در این بررسی مشخص شد که یون آهن به‌تنهایی و بدون میدان نیز اثر افزایشی بر آپوپتوز سلول‌های بنیادی دارد و این نشان‌دهنده تاثیر یون آهن بر آپوپتوز در این سلول‌ها است[23]. برخی دیگر از محققان گزارش کرده‌اند که میدان مغناطیسی در بعضی سلول‌ها موجب افزایش غلظت یون کلسیم درون‌سلولی شده و از این طریق سبب افزایش بقای سلول و کاهش آپوپتوز می‌شود[24].

از اثرات مولکولی اصلی حاصل از میدان‌های مغناطیسی، تاثیر بر اسپین هسته مولکول‌های پارامغناطیس است. این مکانیزم تاثیر مهمی روی واکنش‌های شیمیایی می‌گذارد و می‌تواند باعث آسیب پیوندهای شیمیایی و ایجاد دو مولکول با الکترون‌های جفت‌نشده (یک جفت رادیکال) شود. این رادیکال‌ها با توجه به جهت اسپینشان با همدیگر ترکیب می‌شوند یا به همان صورت منتشر شده و تشکیل رادیکال‌های آزاد یا گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را می‌دهند[25, 26]. رادیکال‌های آزاد گونه‌های خیلی فعال و مولکول‌های ناپایداری هستند که می‌توانند واکنش‌های زنجیره‌ای به‌شکل رادیکال‌های آزاد جدید را شروع کنند. اگر چه تشکیل آنها نتیجه بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی معمولی است، ولی عملکرد آنها بسیار زیان‌آور است.

در این مطالعه مشاهده شد که میدان مغناطیسی ایستا بر سلول‌های سرطانی بیش از سلول‌های فیبروبلاست موثر است و با افزایش مدت و شدت میدان مغناطیسی ایستا درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر در سلول‌ها کاهش می‌یابد. یافته‌های اثر میدان مغناطیسی در این پژوهش موافق با گزارش‌های ارایه‌شده قبلی است[27-30].

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به دستگاه مولد میدان مغناطیسی مورد استفاده اشاره نمود که امکان استفاده از شدت‌های متفاوت با این دستگاه فراهم نبود. با توجه به نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود اثر میدان مغناطیسی ایستا بر نرخ تکثیر و درصد سلول‌های زنده در رده سلول‌های سرطانی دیگری به‌جز سلول‌های سرطانی هلا بررسی شود. همچنین با توجه به اینکه سلول‌های هلا در حضور میدان مغناطیسی ایستا با شدت ۲۱میلی‌تسلا و ۴۸ ساعت کمترین درصد سلول‌های زنده و کمترین میزان تکثیر را داشتند می‌توان بیان داشت که سلول‌های هلا به میدان مغناطیسی ایستا حساس‌تر هستند و این نتیجه می‌تواند به‌عنوان درمان جدید یا درمان مکمل در رابطه با سرطان در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

میدان مغناطیسی ایستا بر سلول‌های سرطانی هلا بیش از سلول‌های فیبروبلاست موثر است و با افزایش مدت و شدت میدان مغناطیسی ایستا، درصد سلول‌های زنده و نرخ تکثیر در سلول‌ها کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از تمامی مسئولانی که در به‌ثمررسیدن این پژوهش یاریگر بودند، تشکر نمایند.

تاییدیه اخلاقی: هر گونه مورد اخلاقی است.

تعارض منافع: هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سهم نویسندگان: الهه شمس (نویسنده اول) پژوهشگر (۲۰%)؛ فاطمه جوانی جونی (نویسنده دوم) پژوهشگر (۲۰%)؛ جابر ظفری (نویسنده سوم) پژوهشگر (۲۰%)؛ رامش منجمی (نویسنده چهارم) پژوهشگر (۲۰%)؛ پرویز عبدالمالکی (نویسنده پنجم) پژوهشگر (۲۰%)

منابع مالی: این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با شماره طرح ۹۲۱۹۷ و با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد فلاورجان انجام پذیرفته است.

منابع

1- Aladjadjiyan A. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of Zea mays. J Cent Eur Agric. 2002;3(2):89-94.

2- Belyavskaya NA. Biological effects due to weak magnetic field on plants. Adv Space Res. 2004;34(7):1566-74.

3- Tofani S, Barone D, Cintorino M, de Santi MM, Ferrara A, Orlassino R, et al. Static and ELF magnetic fields induce tumor growth inhibition and apoptosis. Bioelectromagnetics. 2001;22(6):419-28.

4- McLean M, Engström S, Holcomb R. Static magnetic fields for the treatment of pain. Epilepsy Behav. 2001;2(3):S74-S80.

5- Potenza L, Ubaldi L, De Sanctis R, De Bellis R, Cucchiarini L, Dachà M. Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in Escherichia coli. Mutat Res. 2004;561(1-2):53-62.

6- Saito K, Suzuki H, Suzuki K. Teratogenic effects of static magnetic field on mouse fetuses. Reprod Toxicol. 2006;22(1):118-24.

7- Leszczynski D. Rapporteur report: Cellular, animal and epidemiological studies of the effects of static magnetic fields relevant to human health. Prog Biophys Mol Biol. 2005;87(2):247-53.

8- Liburdy RP, Callahan DE, Harland J, Dunham E, Sloma TR, Yaswen P. Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade: Effects on calcium influx and c-MYC mRNA induction. FEBS Lett. 1993;334(3):301-8.

9- Pipkin JL, Hinson WG, Young JF, Rowland KL, Shaddock JG, Tolleson WH, et al. Induction of stress proteins by electromagnetic fields in cultured HL-60 cells. Bioelectromagnetics. 1999;20(6):347-57.

10- Sahebjamei H, Abdolmaleki P, Ghanati F. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. Bioelectromagnetics. 2007;28(1):42-7.

11- Forouzandeh S, Naghsh N, Salimi S, Jahantigh D. Cytotoxic effect of boswellia serrata hydroalcholic extract on human cervical carcinoma epithelial cell line. Med Lab J. 2014;8(1):7-13. [Persian]

12- Patel S, Gheewala N, Suthar A, Shah A. In-vitro cytotoxicity activity of solanum nigrum extract against HeLa cell line and vero cell line. Int J Pharm Pharm Sci. 2009;1(Suppl 1):38-46.

13- Rahbari R, Sheahan T, Modes V, Collier P, Macfarlane C, Badge RM. A novel L1 retrotransposon marker for HeLa cell line identification. Biotechniques. 2009;46(4):277-84.

14- Landry JJ, Pyl PT, Rausch T, Zichner T, Tekkedil MM, Stütz AM, et al. The Genomic and Transcriptomic Landscape of a HeLa Cell Line. G3 (Bethesda). 2013;3(8):1213-24.

15- Forouzandeh F, Salimi S, Naghsh N, Zamani N, Jahani S. Evaluation of anti-cancer effect of Peganum harmala L

hydroalcholic extract on human cervical carcinoma epithelial cell line. J Shahrekord Univ Med Sci. 2014;16(4):1-8. [Persian]
16- Kawakami T, Nakamura Y, Karibe H. Cyclophosphamide-induced morphological changes in dental root development of ICR mice. PLoS One. 2015;10(7):e0133256.
17- Khodaparast Z, Yousofi AR, Khoshvagti A. Investigation of curcumin effects on liver tissue in adult male rats treated with cyclophosphamide. J Fasa Univ Med Sci. 2014;4(3):344-52. [Persian]
18- Sabet A, Abdolmaleki P, Mowla SJ, Ghanati F. Studying the effect of static magnetic field on induced apoptosis in mesenchymal bone marrow stem cells of rat. Exp Animal Biol. 2013;1(2):17-23. [Persian]
19- Baharara J, Zahedifar Z. The effect of low-frequency electromagnetic fields on some biological a ctivities of animals. Arak Med Univ J. 2012;15(7):80-93. [Persian]
20- Ju S-T, Cui H, Panka DJ, Ettinger R, Marshak-Rothstein A. Participation of target Fas protein in apoptosis pathway induced by CD4+ Th1 and CD8+ cytotoxic T cells. Proc Natl Acad Sci U S A. 1994;91(10):4185-9.
21- Ahmadianpour MR, Abdolmaleki P, Mowla SJ, Hosseinkhani S. Static magnetic field of 6 mT induces apoptosis and alters cell cycle in p53 mutant Jurkat cells. Electromagn Biol Med. 2013;32(1):9-19.
22- Jajte J, Grzegorczyk J, Zmyślony M, Rajkowska E. Effect of 7 mT static magnetic field and iron ions on rat lymphocytes: apoptosis, necrosis and free radical processes. Bioelectrochemistry. 2002;57(2):107-11.
23- Tavasoli Z, Abdolmaleki P, Mowla SJ, Ghanati F , Sarvestani AS. Investigation of the effects of static magnetic field on apoptosis in bone marrow stem cells of rat. Environ. 2009;29(2):220-4.
24- Fanelli C, Coppola S, Barone R, Colussi C, Gualandi G, Volpe P, et al. Magnetic fields increase cell survival by inhibiting apoptosis via modulation of Ca^{2+} influx. FASEB J. 1999;13(1):95-102.
25- Kula B, Sobczak A, Kuska R. Effects of Electromagnetic Field on Free-Radical Processes in Steelworkers. Part I: Magnetic Field Influence on the Antioxidant Activity in Red Blood Cells and Plasma. J Occup Health. 2002;44(4):226-9
26- Sobczak A, Kula B, Danch A. Effects of electromagnetic field on free-radical processes in steelworkers. Part II: Magnetic field influence on vitamin A, E and selenium concentrations in Plasma. J Occup Health. 2002;44(4):230-3.
27- Javani Jouni F, Abdolmaleki P, Movahedin M. Investigation on the effect of static magnetic field up to 15 mT on the viability and proliferation rate of rat bone marrow stem cells. In Vitro Cell Dev Biol Anim. 2013;49(3):212-9.
28- Aldinucci C, Palmi M, Sgaragli G, Benocci A, Meini A, Pessina F, et al. The effect of pulsed electromagnetic fields on the physiologic behaviour of a human astrocytoma cell line. Biochim Biophys Acta. 2000;1499(1-2):101-8.
29- Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ Health Perspect. 2004;112(6):687-94.
30- Kim J, Ha CS, Lee HJ, Song K. Repetitive exposure to a 60-Hz time-varying magnetic field induces DNA double-strand breaks and apoptosis in human cells. Biochem Biophys Res Commun. 2010;400(4):739-44.