مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۳، خرداد ۱۳۹۳، ۲۲۲-۲۰۷

بررسی اثرات میدان الکترومغناطیس با بسامد پایین بر ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی

سید دامون صدوقی[۱]

دریافت مقاله: ۹۲/۰۴/۱۸ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۲/۰۶/۱۸ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۲/۱۱/۱۹ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۲/۰۱

چکیده

زمینه و هدف: دیابت شیرین به صورت هیپرگلیسمی و ایجاد زخم در اندام‌های تحتانی ظاهر می‌شود. افزایش قند خون می‌تواند موجب نارسایی در ترمیم زخم در بیماران دیابتی شود. میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های مختلف، اثرات متفاوتی بر سلول‌های جانوری دارند. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات میدان الکترومغناطیس با بسامد کم بر ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی ۳۰ موش صحرایی به گروه‌های شش تایی مشتمل بر: شاهد سالم، شاهد دیابتی، شاهد آزمایشگاهی دیابتی و گروه‌های تجربی دیابتی ۱ و ۲ که ۲۲ روز و روزانه ۴ ساعت در معرض میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس قرار داشتند، تقسیم شدند. در گروه شاهد سالم و پس از القای دیابت در گروه‌های دیابتی در دو طرف پشتی بدن زخمی به طول ۴ سانتی‌متر ایجاد شد. سپس نمونه‌ها در معرض امواج الکترومغناطیس قرار گرفتند و درصد ترمیم زخم در روزهای ۱، ۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ بررسی شد. داده‌ها توسط آزمون one way ANOVA و آزمون تعقیبی TUKEY در سطح ۰/۰۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها: درصد بهبودی زخم در روزهای ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در گروه تجربی دیابتی ۱ نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری افزایش یافت (p=۰/۰۱۵)، (p=۰/۰۰۹)، (p=۰/۰۰۲) و (p=۰/۰۱۸). همچنین، در روزهای ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در گروه تجربی دیابتی ۲ نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری این درصد کاهش یافت (p=۰/۰۲۹)، (p=۰/۰۱۵) و (p=۰/۰۲۲).

نتیجه‌گیری: میدان الکترومغناطیس با شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس اثرات متفاوتی بر روند ترمیم زخم در نمونه‌های دیابتی دارد. شدت‌های پایین، تسریع‌کننده ولی شدت‌های بالا، مهار کننده ترمیم زخم می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: میدان الکترومغناطیس، ترمیم زخم، دیابت، موش صحرایی

۱- (نویسنده مسئول) مربی گروه آموزشی زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران
تلفن: ۰۵۱۱-۵۰۱۳۹۵۰، دورنگار: ۰۵۱۱-۵۰۱۳۹۵۰، پست الکترونیکی: damoon.sadughi@gmail.com

مقدمه

دیابت شیرین بیماری است که به صورت هیپرگلیسمی، تغییر در متابولیسم لیپیدها، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ایجاد زخم در اندام‌های تحتانی ظاهر می‌شود [۱]. نارسایی در ترمیم زخم در بیماران دیابتی می‌تواند ناشی از التهاب مزمن در محل زخم باشد، به این ترتیب که افزایش قند خون، عمل بیگانه‌خواری ماکروفاژها را مهار نموده، در نتیجه مواد نکروتیک و زائد از موضع زخم حذف نشده و بدین ترتیب فیبروبلاست‌ها و مواد غذایی در زخم کاهش می‌یابد، کاهش جریان خون و هیپوکسی ناشی از آن، به علت کاهش گلوکز داخل سلول، نارسایی در رگ‌زایی، کاهش گلوکز داخل سلولی، کاهش در تولید و شکل‌گیری کلاژن و افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، می‌باشد [۳-۲].

صنعتی شدن جوامع بشری، پیشرفت فناوری و ساخت وسایل الکتریکی موجب شده است که امروزه انسان‌ها در معرض مستقیم میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های متفاوت قرار بگیرند. مشخص شده است، تأثیری که میدان‌های الکترومغناطیس می‌توانند بر فرآیندهای زیستی اعمال کنند با شدت آن، رابطه مستقیم دارد [۵-۴].

بر اساس مطالعات صورت گرفته میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد پایین و شدت‌های بسیار کم موجب افزایش سنتز کلاژن، تکثیر سلولی و افزایش قدرت کشش سطحی می‌شوند. با این‌حال سازوکار مولکولی که باعث افزایش تولید کلاژن می‌شود، هنوز شناخته نشده است. با توجه به این‌که کلاژن نقش محوری در تسریع روند بهبودی زخم دارد، می‌توان از این اثر میدان الکترومغناطیس در تسریع روند بهبودی زخم در بیماران دیابتی استفاده نمود [۷-۶].

Okano و همکاران گزارش نمودند بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های پایین آن می‌تواند جریان خون موضعی مویرگ‌های پوستی را به طور مؤثری افزایش دهد و این افزایش جریان خون می‌تواند موجب تسریع در روند ترمیم زخم گردد [۸]. گزارش شده است میدان الکترومغناطیس پالسی در شرایط *in vivo* سبب افزایش بیان پروکلاژن ۱ و ۳ شده و موجب افزایش ضخامت لایه درم پوست می‌گردد [۹]. در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که میدان‌های الکترومغناطیس پالسی با افزایش ضخامت پوست موجب ترمیم زخم می‌شوند و علت آن اثری است که میدان‌های الکترومغناطیس بر پتانسیل غشای سلولی، کانال‌های یونی و تغییر در تولید آدنوزین‌تری‌فسفات (ATP) اعمال می‌کنند [۱۰].

در برخی مطالعات مشخص شده است که میدان الکترومغناطیس با بسامد پایین در برخی شرایط پاتولوژیکی خاص، نظیر شکستگی استخوان و زخم‌های پوستی اثر درمانی دارد و موجب تسریع روند ترمیم استخوان و زخم‌ها می‌شود [۱۱]. همچنین، در مطالعه‌ای مشخص شده است که میدان الکترومغناطیس پالسی در شرایط *in vitro* اثر مثبتی در افزایش تکثیر استئوبلاست‌های جدا شده از موش‌های صحرایی تازه متولد شده دارد [۱۲]. نتایج حاصل از پاره‌ای تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده سنجیده از میدان‌های الکترومغناطیس نیز می‌تواند روند ترمیم اعصاب محیطی را تقویت نماید [۱۳].Yamaguchi و همکاران نشان

داده‌اند که میدان الکترومغناطیس با بسامد بسیار پایین سرعت تشکیل سلول‌های استخوانی را افزایش می‌دهد و انتشار فاکتور رشد انسولینیII (IGF-II) را در محیط کشت القاء می‌کند [۱۴]. مواجهه شدن با میدان الکترومغناطیس با بسامد بسیار پایین موجب افزایش رشد غضروف می‌شود و فرآیندهای استخوان‌سازی را تسریع می‌بخشد [۱۵].

در پژوهشی که اثرات میدان الکترومغناطیس با بسامد بسیار پایین بر ترمیم زخم بررسی شده است، کاهش زمان فاز التهابی را، از اثرات تابش امواج الکترومغناطیس دانستند که این کاهش در زمان فاز التهابی می‌تواند منجر به تسریع در روند تکثیری و نهایتاً بسته شدن سریع‌تر سطح زخم شود [۱۶].

با توجه به این که اختلال در ترمیم طبیعی زخم یکی از مشکلات مهم در بیماران مبتلا به دیابت شیرین می‌باشد و با توجه به این که میدان‌های الکترومغناطیس به صورت پالسی و با بسامد بسیار پایین (Extremely Low Frequency Pulsed Electromagnetic Field) موجب تسریع روند ترمیم زخم می‌شوند [۱۸-۱۷]، هدف از پژوهش حاضر یافتن اثرات میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس بر روند ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

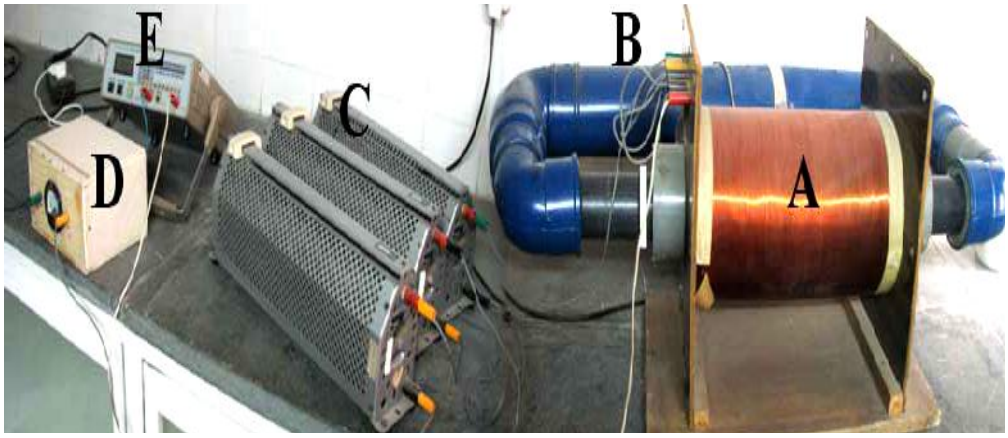
این پژوهش، یک مطالعه تجربی است که در آزمایشگاه علوم جانوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. در این مطالعه، از ۳۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار، با سن تقریبی ۱۵-۱۴ هفته و با وزن تقریبی ۳۰۰-۲۵۰ گرم استفاده شد. حیوانات در دمای تقریبی ۲۳-۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۵-۴۰٪ و دوره روشنایی- تاریکی ۱۲ ساعته نگهداری شدند. حیوانات در قفس‌های استاندارد قرار داشتند و قفس‌ها هر هفته دو بار شستشو و ضد عفونی می‌شدند. همچنین، آب به مقدار کافی توسط بطری شیشه‌ای در اختیار آن‌ها قرار داده شد و هیچ‌گونه محدودیتی از نظر تغذیه نداشتند. نمونه‌ها به طور تصادفی به ۵ گروه شش تایی تقسیم شدند. شامل: گروه شاهد سالم، گروه شاهد دیابتی، گروه شاهد آزمایشگاهی دیابتی که پس از ایجاد زخم به مدت ۲۲ روز و روزانه ۴ ساعت در معرض میدان الکترومغناطیس به حالت خاموش قرار داده شدند و گروه‌های تجربی دیابتی ۱ و ۲ که پس از ایجاد زخم به مدت ۲۲ روز و به ترتیب روزانه ۴ ساعت در معرض میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس قرار داده شدند.

روش ایجاد دیابت تجربی: ۸ هفته قبل از قرارگیری نمونه‌ها در معرض میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس، جهت ایجاد دیابت تجربی، از تزریق داخل صفاقی استرپتوزوتوسین (Upjohn Pharmacia.USA) به میزان B.W ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم استفاده شد. تزریق به گروه شاهد دیابتی، شاهد آزمایشگاهی دیابتی و گروه‌های تجربی ۱ و ۲ صورت گرفت. با این روش ۸ هفته بعد از تزریق، دیابت در موش‌ها ایجاد شد که جهت تأیید آن خون‌گیری از ورید دمی صورت گرفت و قند خون توسط دستگاه گلوکومتر (on call plus ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری و

قندخون بالای ۳۰۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر به عنوان شاخص دیابتی شدن در نظر گرفته شد [۱۹].

روش ایجاد زخم: ۸ هفته بعد از القاء دیابت تجربی، قند خون موش‌های صحرایی دیابتی شده اندازه‌گیری شد و پس از حصول اطمینان از دیابتی بودن، ابتدا موش‌ها با اتر بیهوش شدند و موهای پشت حیوان تراشیده شد. پس از آغشته کردن پوست با بتادین، در دو طرف پشتی بدن برشی عمودی به طول ۴ سانتی‌متر و به فاصله ۱ سانتی‌متری از ستون مهره‌ها با کمک قیچی استریل ایجاد شد، عمق زخم شامل درم و هیپودرم بود [۲۱-۲۰].

نحوهٔ ایجاد میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس: برای تأمین میدان الکترومغناطیس از یک سیستم ویژه که دارای بوبین، ۳ رئوستا، خازن و آمپرمتر بود، استفاده شد. برای ساخت بوبین، حول یک لوله از جنس PVC مقادیر مشخصی از سیم مسی، با استفاده از فرمول محاسبهٔ شدت میدان الکترومغناطیس ($B=\mu nI$) پیچانده شد. (B: شدت میدان الکترومغناطیس برحسب تسلا، μ: $4\pi\times10$، n: تعداد دور در واحد طول، I: شدت جریان). برای اطمینان از صحت خروجی میدان الکترومغناطیس با شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس، پس از برقراری جریان در مدار، با استفاده از دستگاه گاؤس‌متر (TES-1392 ساخت کشور تایوان) شدت میدان بررسی شد. نمونه‌ها در طول مدت آزمایش (روز ۲۲-۱ پس از ایجاد زخم) روزانه به مدت ۴ ساعت در محفظه بوبین سیستم مولد میدان الکترومغناطیس با بسامد کم (۵۰ هرتز) و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس قرار گرفتند (شکل ۱). محقق در مراحل مختلف پژوهش، نظیر نگهداری حیوان، تابش‌دهی با امواج الکترومغناطیس، بیهوش نمودن و غیره، متعهد به رعایت اصول اخلاقی پژوهش بوده است.



شکل ۱- سیستم مولد میدان الکترومغناطیس و انکوباسیون.
A: سیم‌پیچ مولد میدان الکترومغناطیس، B: محفظه انکوباسیون، C: رئوستا، D: خازن، E: ولت‌سنج.

روش اندازه‌گیری مساحت زخم: در روزهای ۱، ۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ پس از ایجاد زخم، از تمامی نمونه‌ها تصاویری با درشت نمایی ۱۰ برابر به کمک فوتواسترئومیکروسکوپ تحقیقاتی مجهز به دوربین عکاسی (zeiss, Germany) و دوربین دیجیتال (Cannon, Japan) تهیه و مساحت سطح زخم (mm^2) در تصاویر، توسط نرم‌افزار ImageJ ویرایش ۲ اندازه‌گیری شد.

روش سنجش بهبود زخم: به منظور اندازه‌گیری درصد بهبود زخم در روزهای ۱، ۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ پس از ایجاد زخم، از فرمول زیر استفاده شد [۲۲].

$$\text{درصد زخم در روز X} = \frac{\text{مساحت زخم در روز X}}{\text{مساحت زخم در روز اول}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد بهبودی زخم در روز X} = \frac{\text{درصد زخم در روز X} - ۱۰۰}{\text{مساحت زخم در روز اول}} \times ۱۰۰$$

X: روز اندازه‌گیری مساحت زخم

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها: در این پژوهش درصد بهبودی زخم در همه گروه‌ها (در ۵ گروه و n=۶ در هر گروه) مورد ارزیابی قرار گرفت و اطلاعات به دست آمده به کمک نرم‌افزار آماری SPSS ویرایش ۲۰ با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (one way ANOVA) بررسی شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار میان گروه‌ها و به منظور تفکیک گروه‌هایی که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند، از آزمون تعقیبی TUKEY در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد.

نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش درصد بهبودی زخم در روزهای ۲ و ۶ پس از ایجاد زخم در نمونه‌های گروه شاهد دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم کاهش یافت، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. مقدار p به دست آمده از تجزیه و تحلیل درصد بهبودی زخم در نمونه‌های فوق به ترتیب شامل (p=۰/۰۹۷) و (p=۰/۱۶۴) می‌باشد. درصد بهبودی زخم در روزهای ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه شاهد دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم به طور معنی‌داری کاهش یافت، (p=۰/۰۱۸)، (p=۰/۰۲۵)، (p=۰/۰۲۹) و (p=۰/۰۳۴).

درصد بهبودی زخم در روزهای ۲ و ۶ در نمونه‌های گروه شاهد آزمایشگاهی دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم کاهش یافت، ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۲۸۵) و (p=۰/۱۱۴). درصد بهبودی زخم در روزهای ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه شاهد آزمایشگاهی دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم به طور معنی‌داری کاهش یافت (p=۰/۰۱۹)، (p=۰/۰۱۱)، (p=۰/۰۲۴) و (p=۰/۰۲۷).

درصد بهبودی زخم در روزهای ۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم کاهش یافت، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۱۲۹)، (p=۰/۱۱۳)، (p=۰/۳۰۹)، (p=۰/۲۷۲)، (p=۰/۳۹۵) و (p=۰/۴۱۱).

درصد بهبودی زخم در روزهای ۲ و ۶ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی افزایش یافت، ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۸۴۱) و (p=۰/۳۳۸). درصد بهبودی

زخم در روزهای ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری افزایش یافت، (p=۰/۰۱۵)، (p=۰/۰۰۹)، (p=۰/۰۰۲) و (p=۰/۰۱۸).

درصد بهبودی زخم در روز ۲، در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم کاهش یافت، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۱۰۳). درصد بهبودی زخم در روزهای ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد سالم به طور معنی‌داری کاهش یافت، (p=۰/۰۰۸)، (p=۰/۰۰۳)، (p=۰/۰۰۱)، (p=۰/۰۰۱) و (p=۰/۰۰۲).

درصد بهبودی زخم در روزهای ۲، ۶ و ۱۰ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی کاهش یافت، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۰۹۸)، (p=۰/۰۵۷) و (p=۰/۰۶۳). درصد بهبودی زخم در روزهای ۱۴، ۱۸ و ۲۲ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری کاهش یافت، (p=۰/۰۲۹)، (p=۰/۰۱۵) و (p=۰/۰۲۲).

درصد بهبودی زخم در روز ۲، در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۰ گاؤس کاهش یافت، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود، (p=۰/۸۸۱). درصد بهبودی زخم در روزهای ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۲ در نمونه‌های گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس نسبت به نمونه‌های گروه تجربی قرار داده شده در مجاورت میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۰ گاؤس به طور معنی‌داری کاهش یافت، (p=۰/۰۰۴)، (p=۰/۰۰۲)، (p=۰/۰۰۱)، (p=۰/۰۰۱) و (p=۰/۰۰۱) (جداول ۱ و ۲).

میانگین وزن موش‌های صحرایی در هر گروه، در روزهای ۱ و ۲۲ اندازه‌گیری شد. در گروه‌های شاهد سالم، شاهد دیابتی، شاهد آزمایشگاهی دیابتی و گروه تجربی مجاور میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در وزن نمونه‌ها، بین روزهای ۱ و ۲۲ مشاهده نشد (p=۰/۶۵۱)، (p=۰/۶۸۴)، (p=۰/۶۴۸) و (p=۰/۵۷۲). وزن نمونه‌های گروه تجربی قرار داده شده در مجاورت میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس، بین روزهای ۱ و ۲۲ آزمایش دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود (p=۰/۰۲۸) (جدول ۳).

جدول ۱- مساحت سطح زخم (mm^2)، در روزهای مختلف پس از ایجاد زخم به تفکیک گروه

روز / گروه (n=۶)	۱	۲	۶	۱۰	۱۴	۱۸	۲۲
شاهد سالم	۳۹۲/۶۱±۶/۰۸	۳۷۲/۸۳±۴/۸۶	۲۴۴/۰۱±۵/۸۹	۱۰۳/۷۱±۳/۵۹	۵۳/۳۵±۴/۱۱	۲۴/۱۹±۳/۲۱	۰/۸۱±۲/۵۲
شاهد دیابتی	۳۸۶/۹۳±۴/۷۹	۳۸۴/۵۱±۴/۱۱	۳۰۳/۴۳±۵/۰۴	۲۵۴/۶۸±۲/۴۵	۱۸۹/۷۱±۵/۳۹	۱۴۲/۶۹±۲/۲۵	۹۸/۳۳±۶/۲۱
شاهد آزمایشگاهی دیابتی	۴۰۲/۳۲±۳/۲۹	۳۹۵/۶۹±۳/۷۴	۲۹۴/۳۸±۳/۱۷	۲۴۱/۱۶±۵/۴۴	۲۰۲/۶۳±۳/۸۸	۱۵۶/۰۳±۶/۱۱	۱۰۰/۵۷±۵/۷۴
گروه تجربی ۱ (۱۰ گاؤس)	۳۹۸/۵۴±۵/۱۳	۳۸۸/۲۱±۳/۹۳	۲۶۱/۲۵±۲/۸۳	۱۵۹/۵۷±۲/۸۷	۸۴/۲۹±۵/۴۵	۳۱/۹۵±۱/۹۶	۸/۸۲±۴/۶۹
گروه تجربی ۲ (۴۰۰ گاؤس)	۴۰۸/۰۲±۵/۲۱	۴۰۶/۴۶±۶/۱۵	۳۷۸/۸۱±۵/۶۳	۲۹۱/۲۱±۴/۰۸	۲۷۵/۲۶±۳/۱۸	۲۴۶/۱۶±۳/۷۷	۱۹۷/۴۴±۴/۴۱

داده‌ها به صورت (Mean± SEM (Standard Error of Mean نشان داده شده است.

جدول ۲- درصد بهبودی زخم، در روزهای مختلف پس از ایجاد زخم به تفکیک گروه

روز / گروه (n=۶)	۱	۲	۶	۱۰	۱۴	۱۸	۲۲
شاهد سالم	۰	۵/۰۳	^{d}۳۷/۸۴	^{abd}۷۳/۵۸	^{abd}۸۶/۴۱	^{abd}۹۳/۸۳	^{abd}۹۹/۷۹
شاهد دیابتی	۰	۰/۶۲	۲۱/۵۸	^{ac}۳۴/۱۷	^{ace}۵۰/۹۷	^{ace}۶۳/۱۲	^{ace}۷۴/۵۸
شاهد آزمایشگاهی دیابتی	۰	۱/۶۵	۲۶/۸۲	^{b}۴۰/۰۵	^{b}۴۹/۶۳	^{b}۶۱/۲۱	^{b}۷۵
گروه تجربی ۱ (۱۰ گاؤس)	۰	۲/۵۹	^{f}۳۴/۴۴	^{cf}۵۹/۹۶	^{cf}۷۸/۵۸	^{cf}۹۱/۹۸	^{cf}۹۷/۷۸
گروه تجربی ۲ (۴۰۰ گاؤس)	۰	۰/۳۸	^{df}۷/۱۵	^{df}۲۸/۶۲	^{def}۳۲/۵۳	^{def}۳۹/۶۶	^{def}۵۱/۶۱

در هر زمان، گروه‌هایی که با حروف متفاوت نمایش داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p<۰/۰۵$).
نتایج با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی TUKEY تحلیل شدند.

جدول ۳- میانگین وزن (گرم) موش‌های صحرایی در هر گروه در روزهای ۱ و ۲۲ پس از ایجاد زخم

گروه (n=۶)	روز اول	روز دوم	مقدار p
شاهد سالم	۲۷۹/۲۲±۳/۴۸	۲۷۳/۵۴±۳/۱۲	۰/۶۵۱
شاهد دیابتی	۲۶۹/۹۸±۴/۰۳	۲۷۱/۴۱±۵/۵۱	۰/۶۸۴
شاهد آزمایشگاهی دیابتی	۲۸۱/۰۲±۴/۶۱	۲۹۷/۶۶±۳/۴۱	۰/۶۴۸
گروه تجربی ۱ (۱۰ گاؤس)	۲۹۰/۱۱±۵/۰۸	۲۸۷/۳۶±۴/۹۱	۰/۵۷۲
گروه تجربی ۲ (۴۰۰ گاؤس)	[a]۲۷۳/۴۷±۵/۲۹	[a]۱۸۲/۵۴±۶/۷۸	۰/۰۲۸

داده‌ها به صورت (Mean± SEM (Standard Error of Mean نشان داده شده است.

در هر گروه، حروف نشان دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین روزهای ۱ و ۲۲ می‌باشند (p<۰/۰۵).

نتایج با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی TUKEY تحلیل شدند.

بحث

امروزه نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر اثرات متفاوت میدان‌های الکترومغناطیس بر فرآیندهای زیستی می‌باشد. در پژوهش‌های مشابه، از شدت‌های بالای میدان الکترومغناطیس با بسامد کم، به منظور یافتن اثرات آن بر ترمیم زخم استفاده شده است و تقریباً تمامی این یافته‌ها نشان‌دهنده اثرات مهاری میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا بر ترمیم زخم می‌باشند **[۲۳]**. برای اولین بار در این پژوهش اثر میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس بر روند ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، درصد بهبودی زخم در نمونه‌های دیابتی قرار داده شده در مجاورت میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس در روزهای ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ پس از ایجاد زخم، در مقایسه با نمونه‌های شاهد دیابتی به طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) افزایش پیدا کرد. با توجه به این که در این پژوهش نمونه‌ها روزانه ۴ ساعت در مجاورت میدان الکترومغناطیس قرار داشتند، درصد بهبودی زخم در نمونه‌های دیابتی، با افزایش زمان به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

روشی که در انجام این پژوهش استفاده شده است نمی‌تواند علت اصلی تسریع در روند بهبودی زخم، در نمونه‌های دیابتی قرار داده شده در مجاورت میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ گاؤس را بیان کند، ولی می‌توان این نتایج را از چند منظر مورد بررسی قرار داد. ممکن است میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۰ گاؤس اثر القایی مثبتی بر فرآیند تقسیم سلولی داشته باشد و منجر به تسریع روند بهبودی زخم در موش‌های صحرایی دیابتی شود. همچنین، ممکن است افزایش درصد بهبودی زخم در این نمونه‌ها ناشی از جهش افزایش عملکرد در ژن‌های مسئول در فرآیند تقسیم سلولی باشد. در بسیاری از تحقیقات، گزارش شده است اثراتی که میدان‌های الکترومغناطیس می‌توانند بر فرآیندهای زیستی اعمال کنند، با شدت آن رابطه مستقیم دارند. بدین صورت که میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا می‌توانند موجب مهار تقسیم سلولی و در

حالت‌های شدیدتر موجب مرگ سلولی شوند. ولی در شدت‌های پایین ممکن است اثر القایی در فرآیندهای تقسیم سلولی داشته باشند و منجر به تسریع روند بهبودی زخم شوند **[۲۶-۲۴]**.

در پژوهشی که توسط Goudarzi و همکاران انجام شد، مشخص گردید، کاربرد میدان الکترومغناطیس نوسان‌دار با بسامد بسیار پایین، طول مدت ترمیم زخم را به طور معناداری کاهش می‌دهد. همچنین، درصد بهبودی زخم در نمونه‌های دیابتی که در مجاورت میدان قرار داشتند، نسبت به آن‌هایی که در معرض میدان نبودند، در روز ۱۲ افزایش معناداری یافت [۲۷]. Kolth و همکارش بیان داشتند که تحریکات الکتریکی با شدت‌های بسیار ضعیف سبب افزایش مهاجرت سلول‌های اپی‌تلیال، فیبروبلاست‌ها، نوتروفیل‌ها و ماکروفاژها می‌شوند و این افزایش در نهایت منجر به تسریع در فاز التهابی و افزایش سرعت روند ترمیم زخم می‌گردد [۲۸]. Kundi و همکاران بیان داشتند، یکی از علل این که میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های پایین موجب تسریع در روند بهبودی زخم می‌شوند، افزایش در جریان خون است. این افزایش منجر به افزایش اکسیژن‌رسانی، مواد غذایی و سلول‌های التهابی در ناحیه زخم شده و در نهایت منجر به تسریع روند بهبودی زخم می‌شود [۲۹]. در مطالعه‌ای که توسط Nursal و همکاران انجام شد، اثر میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد پایین و با شدت ۸ گاؤس بر روی زخم‌های وریدی و شریانی ساق پا مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که این میدان‌ها در دو هفته اول باعث درمان ۶۹٪ از زخم‌ها می‌شوند و کمتر از ۵۰٪ از این زخم‌ها پس از ۴ ماه درمان می‌شوند. همچنین، در شرایط *In vitro* نشان داده، میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد بسیار پایین (Extremely Low-Frequency Magnetic Field) با تأثیر بر سلول‌های تک هسته‌ای خون از طریق کانال‌های کلسیمی می‌توانند منجر به فعال کردن آبشار پیام‌رسانی و تغییر الگوهای تکثیر سلولی شوند [۳۰]. Detlavs و همکاران در پژوهشی اثرات میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های پایین را بر روی زخم‌های ایجاد شده در بافت نرم گوش موش‌های صحرایی مورد بررسی قرار دادند و نشان داده شد که این میدان‌ها می‌توانند سرعت ترمیم زخم را با تغییر در فعالیت سلول‌های دخیل در گرانولاسیون بهبود بخشند [۳۱]. Athanasiou و همکاران اثر میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و با شدت ۸ میلی‌تسلا را بر روی سرعت ترمیم زخم در پوست موش‌های صحرایی مورد مطالعه قرار دادند و سرعت انقباض زخم به عنوان روش ارزیابی ترمیم زخم مورد استفاده قرار گرفت. نتایج، اثرات مثبت و معنی‌دار میدان الکترومغناطیس با شدت ۸ میلی‌تسلا در تسریع روند ترمیم زخم را نشان داد [۱۰]. Patino و همکاران تأثیرات مثبت میدان الکترومغناطیس با بسامد پایین با شدت کم، به صورت پالسی را بر روی ترمیم زخم مزمن پای انسان نشان دادند. در این پژوهش، تحریک، روزی ۴ ساعت و به مدت ۴ هفته انجام شد. به منظور ارزیابی بهبود زخم، اندازه‌گیری سطح و عمق زخم و همچنین، شدت درد مورد سنجش قرار گرفت. نتایج، اختلاف معنی‌داری در سرعت ترمیم زخم در دو گروه تجربی و شاهد نشان داده شد [۳۲]. Callaghan و همکاران در مطالعه‌ای، میدان

الکترومغناطیس با بسامد ۷۵ هرتز و شدت ۵/۲ میلی‌تسلا و عرض پالس ۳/۱ میلی‌ثانیه را به مدت ۳ ماه روزانه ۴ ساعت بر روی ۲۲ بیمار با زخم‌های مزمن دیابتی اعمال کردند. در این مطالعه اثرات مثبت میدان الکترومغناطیس در تسریع روند ترمیم زخم گزارش شد و علت آن را افزایش سرعت تکثیر فیبروبلاست‌های در معرض میدان الکترومغناطیس دانستند [۳۳]. بر اساس تحقیقات انجام شده، میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد کم و شدت‌های پایین می‌توانند باعث تولید انرژی در سطح میتوکندری‌ها و تسریع در تبدیل میوفیبروبلاست به فیبروبلاست و سنتز کلاژن و در نهایت موجب تسریع در ترمیم زخم گردند. همچنین، مشخص شده است میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد کم و شدت‌های پایین اثرات تخریبی بر فرآیندهای زیستی ندارند و فقط موجب افزایش دما و افزایش جریان خون در اطراف محل تابش می‌شوند. با توجه به این که در بیماران دیابتی خون‌رسانی و اکسیژن‌دهی در محل زخم دچار اختلال است، میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد کم و شدت‌های پایین می‌تواند موجب تسریع روند ترمیم شوند [۸].

در پژوهش حاضر علاوه بر شدت ۱۰ گاؤس از شدت ۴۰۰ گاؤس میدان الکترومغناطیس بر فرآیند ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی استفاده شد. نتایج به دست آمده از قرارگیری مستقیم نمونه‌های دیابتی در مجاورت میدان الکترومغناطیس با شدت ۴۰۰ گاؤس، کاملاً با نتایج به دست آمده از قرارگیری نمونه‌های دیابتی در مجاورت میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۰ گاؤس متفاوت است. بدین صورت که درصد بهبودی زخم در نمونه‌های قرار داده شده در مجاورت میدان الکترومغناطیس با شدت ۴۰۰ گاؤس در روزهای ۱۴، ۱۸ و ۲۲ پس از ایجاد زخم، نسبت به نمونه‌های شاهد دیابتی به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش پیدا کرد. این بدین معنا است که میدان الکترومغناطیس با شدت ۴۰۰ گاؤس توانسته است درصد بهبودی زخم را نسبت به نمونه‌های دیابتی که روند ترمیم زخم در آن‌ها کندتر از حالت طبیعی است، بیش از پیش کاهش دهد.

McCormick و همکاران متوجه شدند که زمان لازم برای تقسیم سلول‌ها در مجاورت میدان الکترومغناطیس با بسامد کم و شدت‌های بالا، بیشتر از زمان معمول است و سلول‌های تقسیم شونده قبل از این که فرآیند کامل شود، تخریب می‌شوند. آن‌ها پیشنهاد دادند که تقسیم سلولی به این دلیل کند می‌شود که میدان الکترومغناطیس در شدت‌های بالا می‌تواند مانع از شکل‌گیری و عملکرد صحیح دوک‌های میتوزی شود [۳۴].

Balanejad و همکاران افزایش اثر مهاری راپامایسین (Rapamycin) توأم با میدان الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت ۴۰۰ گاؤس بر رگ‌زایی در پرده کوریوآلانتوئیک جنین جوجه‌را گزارش کردند، به عقیده آن‌ها میدان الکترومغناطیس سینوسی با شدت‌های بالا می‌تواند سبب کاهش تقسیم سلول‌های آندوتلیال عروق خونی شود و همچنین، رشد و نمو اولیه جنین جوجه را مهار کنند [۳۵]. Binhi اظهار نمود که نانو ذرات میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا، غلظت رادیکال‌های آزاد درون سلولی را افزایش می‌دهند و به طور غیرمستقیم سبب آسیب DNA و در نهایت موجب تخریب

سلول‌ها می‌شوند [۳۶]. Grassi و همکاران احتمال تأثیر میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا بر روی سلول‌های سرطانی را به جای تخریب DNA، تأثیر بر ساختار آنزیم‌های غشاء سلولی و تغییر در نفوذپذیری آن معرفی می‌کنند [۳۷].

هدف استفاده از شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس میدان‌های الکترومغناطیس بر فرآیند ترمیم زخم، مقایسه و ذکر اثرات متفاوتی است که میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد پایین می‌توانند بر فرآیند ترمیم زخم داشته باشند. نتایج به دست آمده از قرارگیری نمونه‌های دیابتی در مجاورت میدان الکترومغناطیس با شدت ۴۰۰ گاؤس، می‌تواند هشداری باشد برای بیماران دیابتی که مبتلا به زخم‌های دیابتی هستند. زیرا بر اساس نتایج این پژوهش میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا باعث می‌شوند روند ترمیم زخم بیش از پیش به تعویق افتد. همچنین با استناد به نتایج پژوهش حاضر، میدان الکترومغناطیس در شدت ۱۰ گاؤس می‌تواند درصد بهبودی زخم را در نمونه‌های دیابتی نسبت به شاهد دیابتی به طور معنی‌داری افزایش دهد و تقریباً به شرایط طبیعی (شاهد سالم) بازگرداند. این پژوهش روی موش‌های صحرایی آزمایشگاهی انجام شده است و هدف، تنها بررسی روند ترمیم زخم در نمونه‌های دیابتی بوده است و سایر اثراتی که میدان‌های الکترومغناطیس می‌توانند بر موجود زنده اعمال کنند، بررسی نشده است. بنابراین نمی‌توان از پرتودهی مستقیم میدان الکترومغناطیس حتی در شدت‌های بسیار پایین در تسریع روند ترمیم زخم در بیماران دیابتی، بدون در نظر گرفتن سایر عوارض آن استفاده کرد. زیرا با توجه به تحقیقات صورت گرفته میدان‌های الکترومغناطیس در شدت‌های بالا می‌توانند به صورت غیر انتخابی منجر به مرگ سلول‌های سالم شوند [۳۸]. نتایج این پژوهش می‌تواند شروعی باشد برای انجام تحقیقاتی که به وسیله آن‌ها بتوان مکانیسم‌های مولکولی که متأثر از میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های بالا و پایین، منجر به پاسخ‌های کاملاً متفاوت در روند ترمیم زخم می‌شود را یافت. پیشنهاد می‌شود اثرات میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد پایین و شدت‌های متفاوت روی سایر مدل‌های آزمایشگاهی به منظور مقایسه با نتایج این پژوهش، بررسی شود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مشخص شد میدان‌های الکترومغناطیس با بسامد ۵۰ هرتز و شدت‌های ۱۰ و ۴۰۰ گاؤس می‌توانند اثرات کاملاً متفاوتی بر ترمیم زخم در موش‌های صحرایی دیابتی داشته باشند. شدت ۱۰ گاؤس توانست درصد بهبودی زخم را در نمونه‌های دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری افزایش دهد. با استناد به روشی که در انجام این پژوهش استفاده شده است، یقیناً نمی‌توان گفت شدت ۱۰ گاؤس توانسته است اثر القایی مثبت و بدون هیچ‌گونه عوارض جانبی بر روند ترمیم زخم داشته باشد، زیرا ممکن است این افزایش در روند بهبودی زخم ناشی از جهش در ژن‌های مسئول در فرآیند تقسیم سلولی باشد. همچنین شدت ۴۰۰ گاؤس توانست درصد بهبودی زخم را در نمونه‌های دیابتی نسبت به نمونه‌های گروه شاهد دیابتی به طور معنی‌داری کاهش

دهد. بنابراین می‌توان گفت قرارگیری بیماران دیابتی در معرض مستقیم میدان‌های الکترومغناطیس با شدت‌های بالا می‌تواند روند ترمیم زخم را در این بیماران بیش از پیش به تعویق بیندازد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی اساتید محترمی که در انجام این پژوهش مرا یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1] Mordes JP, Bortell R, Blankenhorn EP, Rossini AA, Greiner DL. Rat Models of Type 1 Diabetes: Genetics, Environment, and Autoimmunity. *ILAR Journal* 2004; 45(3): 278-91.

[2] *Jagetia GC, Baliga MS, Aruna R, Rajanikant GK, Jain V*. Augmentation of wound healing by ascorbic acid treatment in mice exposed to c-radiation. *Int J Radiat Biol* 2004; 80(5): 347-54**.**

[3] Kanta J. The role of hydrogen peroxide and other reactive oxygen species in wound healing. *Acta Medica* 2011; 54(3): 97-101.

[4] Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, Contin A, Bersani F, et al. Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay. *Mutat Res* 2010; 683(1-2): 35-42.

[5] Scarfí MR, Sannino A, Perrotta A, Sarti M, Mesirca P, Bersani F. Evaluation of genotoxic effects in human fibroblasts after intermittent exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a confirmatory study. *Radiation Res* 2005; 164(3): 270-6.

[6] Greenough CG. The effect of pulsed electromagnetic fields on flexor tendon healing in the rabbit. *Am J Surg* 1996; 21(6): 808-12.

[7] Zafer Nursal T, Bal N, Anarat R, Colakoglu T, Noyan T, Moray G, et al. Effects of a static magnetic field on wound healing: results in experimental rat colon anastomoses. *Am J Surg* 2006; 192(1): 76-81.

[8] Okano H, Gmitrov J, Ohkubo C. Biphasic effects of static magnetic fields on cutaneous microcirculation in rabbits. *Bioelectromagnetics* 1999; 20: 161-71.

[9] Luo D, Cao Y, Wu D, Xu Y, Chen B, Xue Z. Impact of intense pulse light irradiation on Balb/C mouse skin *in-vivo* study on collagens, matrix

[16] Demir H, Balay H, Kirnap M. A comparative study of the effects of electrical stimulation & laser treatment on experimental wound healing in rats. *J Rehabil Res Dev* 2004; 41(2): 147-54.

[17] Bouzarjomehri F, Hajizadeh S, Sharafi A, Firoozabadi S. Effect of low-frequency pulsed electromagnetic field on wound healing in rat skin. *Arch Iranian Med* 2000 3(1): 23-6.

[18] Ieran M, Zaffuto S, Bagnacani M, Annovi M, Moratti A, Cadossi R. Effect of low frequency pulsing electromagnetic fields on skin ulcers of venous origin in humans: a double-blind study. *J Orthop Res* 1990; 8(13): 276-82.

[19] Behnam-Rassouli M, Ghayour N, Ghayour MB, Ejtehadi MM. Investigating the effects of hydro-alcoholic extract of Launaea acanthodes on the serum levels of glucose, insulin, lipids and lipoproteins in stereptozotocin induced type I diabetic rats. *AMUJ* 2012; 14(59): 48-56.

[20] Ebrahimian TG, Pouzoulet f, Squiban C. Cell therapy based on adipose tissue-derived stromal cells promotes physiological and pathological wound healing. *Nature* Med 2009; 15(2): 68-79.

[21] Bayat M, Abdi S, Javadieh F, Mohsenifar Z, Rashid MR. The effects of low-level laser therapy on bone in diabetic and nondiabetic rats. *Photomed Laser Surg* 2009; 27(5): 703-8.

[22] Jia Y, Zhao G, Jia J. Preliminary evaluation: the effects of Aloe ferox Miller and Aloe arborescens

metalloproteinases and vascular endothelial growth factor. *Lasers Med Sci* 2009; 24(1): 101-8.

[10] Athanasiou A, Karkambounas S, Batistatou A, Lykoudis E, Katsaraki A, Kartsiouni T, et al. The effect of pulsed electromagnetic fields on secondary skin wound healing:An experimental study. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(5): 362-8.

[11] Shupak NM, Prato FS, Thomas AW. Therapeutic uses of pulsed magnetic-field exposure: a review. *Sci Bull* 2003; 307: 32-9.

[12] Tsai MT, Chang WH, Chang K, Hou RJ, Wu TW. Pulsed electromagnetic fields affect osteoblast proliferation and differentiation in bone tissue engineering. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(7): 519-28.

[13] Lednev VV. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics* 1991; 12: 71-5.

[14] Yamaguchi DT, Huang J, Ma D, Wang PK. Inhibition of gap junction intercellular communication by extremely low-frequency electromagnetic fields in osteoblast-like models is dependent on cell differentiation. *Jell Physiol* 2002; 190: 180-8.

[15] Sul AR, Park SN, Suh H. Effects of sinusoidal electromagnetic field on structure and function of different kinds of cell lines. *Yonsei Med J* 2006; 47: 852-61.

Miller on wound healing. *J Ethnopharmacol* 2008; 120(2):181-9.

[23] Nursal TZ, Bal N, Anarat R, Colakoglu T, Noyan T, Moray G, et al. Effects of a static magnetic field on wound healing: results in experimental rat colon anastomoses. *Am J Surg* 2006; 192(1): 76-81.

[24] McNamee JP, Bellier PV, McLean JR, Marro L, Gajda GB, Thansandote A. DNA damage and apoptosis in the immature mouse cerebellum after acute exposure to a 1 mT, 60 Hz magnetic field. *Mutat Res* 2002; 513(1-2): 121-33.

[25] 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. *Mutat Res* 2003; 541(1-2): 81-9.

[26] Cucurachi S, Tamis WLM, Vijver MG, Peijnenburg WJGM, Bolte JFB, De Snoo GR. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environ Int* 2013; 51(1): 116-40.

[27] Goudarzi I, Hajizadeh S, Salmani ME, Abrari K. Pulsed electromagnetic fields accelerate wound healing in the skin of diabetic rats. *Bioelectromagnetics* 2010; 31(4): 318-23.

[28] Kolth LC, Mcculloch JM. Promotion of wound healing with electrical stimulation. *Adv Wound care* 1996; 9(10): 42-5.

[29] Kundi M, Hardell L, Sage C, Sobel E. Electromagnetic fields and the precautionary principle. *Environmental Health Perspectives* 2009; 117(11): 484-95.

[30] Nursal T, Bal N, Anarat R, Colakoglu T, Noyan T, Moray G, et al. Effects of a static magnetic field on wound healing: results in experimental rat colon anastomoses. *Am J Surg* 2006; 192(1): 76-81.

[31] Detlavs I, Dombrovska L, Klavinsh I, Turauska A, Shkirmante B, Slutskii L. Experimental study of the effect of electromagnetic fields' in the early stage of wound healing. *Bioelectrochem Bioenerge* 1994; 35(2): 13-17.

[32] Patino O, Grana D, Bolgiani A, Prezzavento G, Mino J, Merlo A, et al. Pulsed Electromagnetic Fields in Experimental Cutaneous Wound Healing. *J Burn Care Rehabil* 1996; 17(6 Pt 1): 528-31.

[33] Callaghan M, Chang E, Natalie Seiser N, Aarabi SH, Ghali SH, Kinnucan E, et al. Pulsed Electromagnetic Fields Accelerate Normal and Diabetic Wound Healing by Increasing Endogenous FGF-2 Release. *Plast Reconstr Surg* 2008; 121(1): 130-41.

[34] McCormick DL, Boorman GA, Findlay JC, Hailey JR, Johnson TR, Gauger JR, et al. Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in B6C3F1 mice. *Toxicol Pathol* 1999; 27(19): 279-85.

[35] Balanejad S, Parivar K, Baharara J, Mohseni Kochesfahani H. Effect of Combinned rapamycine and of low frequency electromagnetic field on angiogenesis. *JSKUMS* 2010; 11(3): 70-6. [Farsi]

[36] Binhi V. Do naturally occurring magnetic nanoparticles in the human body mediate increased risk of childhood leukaemia with EMF exposure. *Int J Radiat Biol* 2008; 84(7): 569-79.

[37] Grassi C, D'Ascenzo M, Torsello A, Martinotti G, Wolf F, Cittadini A, et al. Effects of 50Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca^{2+} channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death. *Cell* 2004; 35(4): 307-15.

[38] Sadooghi SD, Nezhad Shahrokh Abadi K, Zafar Balanzhad S, Baharara J. Investigating the cytotoxic effects of ethanolic extract of Ferula assa-foetida resin on HepG2 cell line. *J KAUMS* 2013; 17(4): 323-30.

Investigating the Effects of Low Frequency Electromagnetic Field on Wound Healing in Diabetic Rats

S.D. Sadooghi[1]

Received: 09/07/2013 Sent for Revision: 09/09/2013 Received Revised Manuscript: 08/02/2014 Accepted: 20/02/2014

Background and Objective: Diabetes mellitus appears in hyperglycemia mode and ulcers in extremities. Hyperglycemia can lead to impair wound healing in diabetic patients. Electromagnetic fields (EMF) with different intensities have distinctive effects on animal cells. The purpose of this study was to investigate the effects of low frequency electromagnetic field on wound healing in diabetic rats.

Materials and Methods: In this experimental study,30 rats were divided into six groups; normal control group, diabetic control group, diabetic sham-exposed and diabetic experimental groups 1 and 2 that were treated 22 days by EMF with intensity of 10 and 400 gauss for 4 hours daily. In normal control group and after diabetes induction in diabetic groups, wounds with length of 4 cm in two sides of the dorsal body were created. Then, samples were exposed to electromagnetic radiation and investigated the percentage of wound healing on days 1, 2, 6, 10, 14, 18 and 22. Data was analyzed by one way ANOVA and post hoc Tukey at the level of 0.05.

Results: The percentage of wound healing on days 10, 14, 18 and 22 in diabetic experimental group 1 in comparison to diabetic control group increased significantly (p=0.015), (p=0.009), (p=0.002) and (p=0.018). The percentage of wound healing on days 14, 18 and 22 in diabetic experimental group 2 compared with diabetic control group decreased significantly (p=0.029), (p=0.015) and (p=0.022).

Conclusion: Electromagnetic field with intensities of 10 and 400 gauss has different effects on wound healing in diabetic samples. Low intensities accelerate wound healing and high intensities inhibit wound healing.

Key words: Electromagnetic field, Wound healing, Diabetes, Rat

Funding: This research was funded by Islamic Azad University of Mashhad.

Ethical approval: None declared.

Conflict of interest: The Ethics Committee of Islamic Azad University of Mashhad approved the study.

How to cite this article: Sadooghi SD. Investigating the Effects of Low Frequency Electromagnetic Field on Wound Healing in Diabetic Rats. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2014; 13(3): 207-22.

1- MSc, Dept. of Biology, Payame Noor University, Mashhad, Iran
(Corresponding Author) Tel: (0511) 8683001, Fax: (0511) 8683001, Email: damoon.sadughi@gmail.com