

## مطالعه تغییرات الکتروکاردیوگرام در انسانهای در تماس با میدانهای الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز

سید علی سیدی زاده<sup>۱\*</sup>، پروین نصیری<sup>۲</sup>، حجت زراعتی<sup>۳</sup>، رحمت ا... جهانگیری<sup>۴</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۲- استاد فیزیک، دانشکده بهداشت و انستوی تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۳- استادیار آمار زیستی، دانشکده بهداشت و انستوی تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۴- استادیار، جراح و متخصص قلب و عروق، دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ارتش

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۷/۲/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۴/۲۴

### چکیده

**مقدمه:** در میان اثرات ممکن ناشی از تماس با میدانهای مغناطیسی با محدوده فرکانسی بسیار پایین، اثر بر روی سیستم قلبی - عروقی نیز در پایگاه داده های حاصل از اثرات زیستی میدانها گزارش شده است.

**مواد و روشها:** این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات طولانی مدت تماس با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر تغییرات سیگنال الکتروکاردیوگرام انجام گرفت. مطالعه در طی سه مرحله انجام گرفت. ابتدا شدت موثر میدان الکتریکی و مغناطیسی در قسمتهای مختلف پست که اپراتورها زمان بیشتری را در آنجا صرف می کردند، اندازه گیری شد. سپس با توجه به عادات کاری و رفتاری اپراتورها، میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته شدت موثر میدان الکتریکی و مغناطیسی به عنوان شاخص مواجهه برای تک اپراتورهای شاغل در پستها تخمین زده شد. سپس با توجه به تاریخچه شغلی و دارویی و بررسی پرونده های پزشکی ۱۰۲ نفر از بین اپراتورها انتخاب شدند. از افراد انتخاب شده در وضعیت استراحت نوار قلب در اشتقاق II گرفته شد. سپس از الکتروکاردیوگرام ثبت شده، ۵ پارامتر تعداد ضربان قلب، مدت زمان موج P و کمپلکس QRS و مدت زمان فاصله PR و QTc استخراج شد. با استفاده از آنالیز رگرسیون چندگانه اثرات همزمان متغیرهای مستقل (سن، سابقه کار و میانگین وزنی زمانی میدان الکتریکی و مغناطیسی) بر پارامترهای استخراج شده از سیگنال الکتروکاردیوگرام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**نتایج:** نتایج بدست آمده نشان می دهد که اثرات همزمان متغیرهای مورد نظر می توانند تغییراتی در فاصله PR و QTc سیگنال الکتروکاردیوگرام ایجاد کنند. وقتی میزان اثر هر یک از متغیرها را در بروز تغییرات ایجاد شده در فواصل سیگنال الکتروکاردیوگرام بررسی می کنیم، متوجه می شویم که بیشترین تغییرات ایجاد شده در فاصله QTc و PR در اثر تماس با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ایجاد می شود.

**بحث و نتیجه گیری:** بررسی اثرات حاصل از میدانهای الکترومغناطیسی بر سیگنال الکتروکاردیوگرام، بازگو کننده اثرات این میدانها بر رپلازیماسیون سلولهای قلبی است. از طرف دیگر، تعداد ضربان و ریتم قلب تحت کنترل سیستم اعصاب خودکار قرار دارد. بنابراین لازم است در کنار بررسی سیگنال الکتروکاردیوگرام، سیگنال HRV نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، تا بدین وسیله اثرات میدانها بر روی عملکرد سیستم اعصاب خودکار قلب مورد ارزیابی قرار گیرد. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۴، شماره ۱۶ و ۱۷، پاییز و زمستان ۸۶: ۴۳-۵۲)

واژگان کلیدی: الکتروکاردیوگرام، الکترومغناطیس، فرکانس

\* نویسنده مسؤول: سید علی سیدی زاده

آدرس: گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت و انستوی

تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

S.seyedizadeh@yahoo.com

تلفن: ۸۸۹۵۱۳۹۰ - (۲۱) ۹۸ + دورنگار: ۸۸۹۵۱۳۹۰ - (۲۱) ۹۸ +

۱ - مقدمه

سید علی سیدی زاده و همکاران

موج T بیشتر از دیگر مولفه های الکتروکاردیوگرام تحت تاثیر این پدیده قرار می گیرد و این بدلیل آن است که زمان جاری شدن خون در داخل شریانها با ریلاریزاسیون بطنی، همزمان خواهد بود. افزایش ولتاژ موج T ارتباطی به فعالیت الکتریکی پیش آهنگ قلب ندارد و تغییر الکتروکاردیوگرام واقعا بازتابی از همزمان شدن ولتاژ مگتوهیدرودینامیک تولید شده بواسطه جاری شدن خون در حضور میدان مغناطیسی به کارگرفته شده است.

کالنگز و همکارانش در سال ۱۹۹۸ طی یک مطالعه ۳۸ ساله بر روی ۱۴۰۰۰۰ کارگر صنایع تولید و انتقال برق به این نتیجه رسیدند که مردانی که در حضور میدانهای الکترومغناطیس قوی کار می کنند، نسبت به همکارانشان که در تماس کمتری با میدانهای الکترومغناطیس قرار دارند، سه برابر بیشتر دچار حمله قلبی و چندین برابر بیشتر دچار ناراحتیهای قلبی عروقی شده اند. آنها متوجه شدند که بین مرگ و میر ناشی از آریتمی قلبی و انفارکتوس حاد میوکاردیال با سوابق کاری طولانی مدت در شغلهایی که در مواجهه با میدانهای مغناطیسی قوی هستند، ارتباط آماری معناداری وجود دارد. ضریب مرگ و میر این دسته از افراد ۳/۳ - ۱/۵ برابر بیشتر از دیگر گروه ها بود.

پژوهشی مشابه در سال ۱۹۹۵ توسط ساویتز و همکارانش در خصوص بررسی علت مرگ و میر کارگران صنعت برق آمریکا انجام گرفت. تماس با میدانها بر اساس تاریخچه شغلی افراد و اندازه گیری میدانها در سایت کاری بدست آمد. نرخ مرگ و میر در ارتباط با تماس جمعی با میدانهای مغناطیسی آنالیز شد. نتایج بدست آمده نشان می داد که مرگ و میر ناشی از بیماریهای قلبی در بین این افراد پایین تر از مقدار پیش بینی شده آن در سطح عموم مردم (نرخ مرگ و میر استاندارد شده در اثر بیماریهای قلبی ۰/۷۶) بدست آمد. نتایج این مطالعه پیشنهاد می کرد که تماس با میدانهای مغناطیسی ELF،

تغییر سیگنال الکتروکاردیوگرام از جمله اثرات میدانها است که در متون مختلف به آن اشاره شده است [۱]. افزایش دامنه موج T سیگنال الکتروکاردیوگرام در موشهایی که در معرض میدانهای مغناطیسی قرار داشته اند، مشاهده شده است. این تغییر ناشی از اضافه شدن پتانسیل الکتریکی است که در اثر جاری شدن خون شریانی در حضور میدان مغناطیسی، تولید می شود

محققین در انستیتوی تحقیقاتی میدوست، اثرات حاصل از میدانهای الکترومغناطیسی ELF<sup>۱</sup> را بر روی تعداد ضربان قلب انسانها، مورد مطالعه قرار دادند [۲و۱]. از نظر آماری، کاهش قابل توجهی در تعداد ضربان قلب افراد در تماس با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی نسبت به گروه شاهد، دیده می شد. پاد و ویتینگتون در سال ۱۹۹۶ هیچ اثری از مواجهه با یک میدان مغناطیسی ۱۰۰ میکرو تسلا (۵۰ هرتز) چه در تعداد ضربان قلب و چه در فشار خون، پیدا نکردند [۳]. اوت و همکارانش در سال ۲۰۰۱ به نتایج متناقضی دست پیدا کردند. آنها پیشنهاد کردند که تماس با میدانهای الکترومغناطیس ELF باعث افزایش تعداد ضربان قلب می شوند [۴]. جهنسون و دوباک در سال ۱۹۸۸ پس از انجام یک مطالعه به این نتیجه رسیدند که میدان مغناطیسی استاتیک نیز می تواند بر تعداد ضربان قلب، موثر باشد [۵]. تماس با یک میدان مغناطیسی استاتیک با شدت ۲ تسلا، باعث می شود، زمان هر سیکل قلبی ۱۷٪ افزایش یابد. این در حالی است که ۱۰ دقیقه بعد از تماس، سیکل قلبی به حالت اولیه خود بر می گشت. علت آن را، تاثیر میدانهای مغناطیسی بر روی گره سینوسی دهلیزی می دانند.

۱- Extremely Low Frequency: میدانهای الکتریکی و مغناطیسی با فرکانسهای بسیار پایین (۳۰۰ - ۳۰ هرتز)

## تغییرات الکتروکاردیوگرام با میدان الکترومغناطیسی

این مطالعه به صورت مقطعی و توصیفی - تحلیلی بوده و با هدف تعیین تاثیر مواجهه طولانی مدت با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر تعداد ضربان قلب و دیپلاریزاسیون و رپلاریزاسیون دهلیزی و بطنی انجام شده است. مطالعه در طی سه مرحله انجام گرفته است. در مرحله اول، شدت  $rms^1$  میدان الکتریکی و مغناطیسی تولید شده توسط پستهای انتقال برق اندازه گیری شد. در مرحله دوم با استفاده از داده های جمع آوری در خصوص شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی و اطلاعات اضافی جمع آوری شده در خصوص الگوهای تماس افراد، میانگین وزنی زمانی شدت  $rms$  میدان الکتریکی و مغناطیسی برای تک تک اپراتورهای شاغل در پستها تخمین زده شد. در مرحله آخر مشخص می شود که آیا سطوح تماس، الگویی از رابطه دز - پاسخ را نشان می دهد که بر اساس آن فواصل و شکل موجهای الکتروکاردیوگرام تحت تاثیر قرار گیرد.

## ۲- مواد و روشها

در ابتدا تعدادی از ایستگاههای انتقال برق استان یزد برای تعیین محل مناسب برای انجام مطالعه مورد بازرسی اولیه قرار گرفتند. در بازرسی، شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی بوسیله دستگاه HI-3604 به طور اختصار مورد اندازه گیری قرار گرفت. از بین پستهای انتقال برق استان یزد، ۹ پست با ولتاژهای مختلف بر اساس چندین معیار انتخاب شدند. معیارهای انتخاب پستها عبارت بودند از:

- ۱- سطح تماس اپراتورهای شاغل در پستها با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی از اختلاف قابل توجهی برخوردار باشد.

اثرات مثبتی را در سلامتی خصوصا عملکرد سیستم قلبی عروقی خواهد داشت [۶]. تحقیقاتی که در خصوص بررسی اثرات میدانهای ELF بر روی فیزیولوژی انسان انجام گرفته است، نتایج متناقضی را به دنبال داشته است. مهمترین دلیلی که باعث شده است، نتایج مشابهی از تحقیقات بدست نیاید، این است که مطالعات منتشر شده از توان آماری پایینی برخوردار هستند. بررسی که در این زمینه توسط پاد و ویتینگتون در سال ۱۹۹۶ انجام شده، نشان می دهد، میانگین توان آماری برای آندسته از مطالعاتی که ارتباط بین میدانهای الکترومغناطیسی را با اثرات جزئی فیزیولوژیکی بررسی می کردند، ۰/۰۸ و برای آندسته از مطالعاتی که ارتباط بین میدانهای الکترومغناطیسی را با اثرات وسیع فیزیولوژیکی مورد مطالعه قرار داده بودند، ۰/۴۶ بدست آمده است [۷]. این بدین مفهوم است که اثرات حاصل از میدانهای الکترومغناطیسی، بدلیل حساسیت پایین آزمایشات، قابل شناسایی نیستند. اکثر مطالعات منتشر شده از شانس کمی برای شناسایی اثرات جزئی حاصل از میدانهای الکترومغناطیسی ضعیف، برخوردار بوده اند. برای بالا بردن توان آماری، بایستی اثرات حاصل از میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را بر روی سیستم بیولوژیکی بررسی کرد که با توجه به حساسیت تجهیزات به کار گرفته شده، علائم بیولوژیکی حاصله را بتوان اندازه گیری نمود. علاوه بر این بایستی به حجم نمونه، روش آماری به کار گرفته شده نیز توجه کرد. یک سیستم بیولوژیکی حساس به میدانهای الکترومغناطیسی ضعیف، سیستم قلبی - عروقی انسان است. اما با توجه به حساسیت سیستم قلبی - عروقی انسان به میدانهای الکترومغناطیسی، عملکرد این سیستم تحت تاثیر عوامل مختلفی دیگری (نوع رژیم غذایی، میزان مصرف سیگار و دارو، سن و ..) قرار دارد.

۱- Root Mean Square: (مربع میانگین ریشه) : یک تابع ریاضی است که برای میانگین گیری از شدتهای میدانهای الکتریکی و مغناطیسی متغیر با زمان از آن استفاده می شود.

۲- عادات کاری و رفتاری اپراتورها قابل ردیابی بوده و برنامه های کاری مشابهی داشته باشند.

۳- تاریخچه شغلی و داروئی آنها در دسترس باشد.

از بین ۹ پست انتخاب شده، دو پست ۶۳/۴۰، یک پست ۶۳/۲۰، یک پست ۶۳/۲۳ و پنج پست ۶۳/۱۳۲ و پست ۶۳/۲۰ کیلوولت بودند. اپراتورهای شاغل در این پستها همگی مرد و از وضعیت سلامتی خوبی برخوردار بودند. وظیفه کاریشان شامل: حفظ و نگهداری تجهیزات و دستگاهها، کنترل ولتاژ ورودی و خروجی، انجام عملیات به صورت دستی یا اتوماتیک زیر نظر مرکز کنترل، ثبت بار خطهای ورودی و خروجی در دفتر هر یک ساعت یکبار، کنترل درجه حرارت ترانسفورماتور و بازدید از دستگاهها هر سه ساعت یکبار، بازرسی از باطری خانه و اتاق رله و پاسخگویی به مکالمات دیگر پستها و مرکز کنترل.

میانگین سن اپراتورها  $40.96 \pm 9.4$  سال و میانگین سابقه کار آنها  $8.83 \pm 1.58$  سال بود. شیفت کاری آنها ۱۲ ساعته و به صورت چرخشی بود. در شیفتهای شب، هر یک از اپراتورها، مدت زمانی معادل ۲ ساعت را در اتاق استراحت، خواب بودند.

بازرسی ها و اندازه گیریها مستقیماً در محیط کار انجام گرفت، به نحوی که کمترین مداخله ای در کارهای روتین انجام شده توسط اپراتورها صورت گیرد. به خاطر نبود اطلاعات کافی از گذشته شغلی افراد و وجود مواردی چون مصرف سیگار، کلسترول و تری گلیسیرید بالا و استفاده از داروهای موثر بر سیگنال الکتروکاردیوگرام (کینین، کینیدین و ...)، که ممکن بود با نتایج، مداخله ایجاد کند، تعدادی از اپراتورها از مطالعه حذف شدند.

در اکثر موارد مشکل است که مستقیماً، مقدار مواجهه تجمعی گذشته فرد را با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و پیش از استخدام در شغل فعلی، تعیین کرد. در عوض می توان با داشتن یک تاریخچه کامل شغلی بر این مشکل فائق آمد.

ارزیابی مواجهه گذشته افراد با میدانهای ELF را می توان بر اساس مدت اشتغال در هر نوع شغل و سطح تماس استاندارد برای آن نوع شغل بدست آورد. فاکتور مهمی که اثر زیادی در ارزیابی مواجهه تجمعی افراد می گذارد، مقدار زمان صرف شده برای انجام وظایف شغلی است که مستلزم تماس با میدانهای ELF قوی است. افرادی که مدارکشان نشان می داد در طول مدت اشتغالشان، وظایف کاری را برعهده داشته اند که به موجب آن در تماس طولانی مدت با میدانها قرار گرفته اند (بیش از یک سال) به دقت مورد بررسی قرار گرفتند. در صورتی که مستندات دال بر تعیین دقیق مدت زمان تماس به دست نمی آمد، آن افراد از مطالعه حذف می شدند. از بین اپراتورهای شاغل در ۹ پست انتخاب شده، ۱۰۲ اپراتور از شرایط لازم برای شرکت در مطالعه برخوردار بودند. از این تعداد، ۲۸ نفر در پستهای ۶۳/۴۰، ۱۰ نفر در پستهای ۶۳/۲۳، ۱۰ نفر در پستهای ۶۳/۱۳۲ و ۵۴ نفر در پستهای ۶۳/۲۰ کیلو ولت مشغول به کار بودند.

برای بدست آوردن میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته شدت rms میدان الکتریکی و مغناطیسی برای اپراتورهای شاغل در پستها، ابتدا لازم است یک نقشه مکانی از توزیع میدان الکتریکی و مغناطیسی، تهیه شود. برای این منظور، در هر مکان خاص از سایت کاری، تعدادی از نقاط را برای اندازه گیری شدت rms میدان الکتریکی و مغناطیسی، انتخاب شد. این نقاط متناسب با مکانهایی که کارگران زمان نسبتاً زیادتری را در آنجا صرف می کنند، تعیین می شود. شدت rms میدان الکتریکی و مغناطیسی در هر یک از نقاط با استفاده از دستگاه HI-3604 و در فاصله ۱/۵ متری از سطح زمین (در ارتفاع قلب)، بر اساس تکرار اندازه گیری و میانگین گیری تعیین می شود. برای این منظور در هر نقطه ۱۲ اندازه گیری با فاصله زمانی ۱۰ ثانیه انجام شده و سپس میانگین گرفته می شود ( $E_i$  و  $B_i$ ).

باید توجه داشت که اصطلاح وظیفه کاری که در اینجا استفاده شده، به طور واقعی بیان کننده فعالیت‌هایی است که اپراتور در یک نقطه معین  $t$  انجام می‌دهد. بنابراین انجام هر وظیفه مرتبط با یک نقطه معین است. از این رو اصطلاح وظیفه تنها شامل بازرسی و نگهداری از تجهیزات نمی‌شود بلکه فعالیت‌های انجام شده در اوقات فراغت، خوردن، استراحت کردن و تماشای تلویزیون و ... را نیز در بر می‌گیرد.

روش توصیف شده، این امکان را ایجاد می‌کند که تخمینی از کسر زمانی که یک اپراتور به طور متوسط در نقاط مختلف صرف می‌کند، بدست آورد. نقاطی که اپراتورها زمان خیلی کمی را در آنجا صرف می‌کنند (راهروها و اطاق رخت کن) در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین نقاطی که شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی در آن نقاط بسیار پایین باشد، به فرض تاثیر کم آن در تخمین میانگین وزنی زمانی، در نظر گرفته نمی‌شوند. هر اختلاف در برنامه های کاری بوسیله تصحیح میزان مواجهه بواسطه نرمال کردن مدت زمان طولانی شیفت کاری (۱۲ ساعت) جبران می‌شود که از طریق محاسبه فاکتورهای  $w_i$  که نمایانگر وقفه هایی از ۱۲ ساعت می‌باشند، قابل انجام است.

همه اندازه گیری های بوسیله دستگاه HI-۳۶۰۴ انجام گرفت. این دستگاه از یک حسگر برای اندازه گیری میدانهای الکتریکی و یک حسگر از نوع سیم پیچ کاوشگر برای اندازه گیری میدان های مغناطیسی تشکیل شده است. این دستگاه قادر به اندازه گیری بزرگی بردار rms و max چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی است. برای اندازه گیری شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی دستگاه را آماده کرده و آن را روی سه پایه (در ارتفاع ۱/۵) نصب می‌کنیم. سطح صفحه حسگر دستگاه باید طوری جهت گیری شود که خطوط میدان عمود بر صفحه باشد.

حال می‌توان میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته چگالی شار مغناطیسی rms و شدت میدان الکتریکی rms را برای اپراتورهای شاغل در هر یک از پستها، محاسبه کرد. میانگین وزنی زمانی شدت rms میدان الکتریکی ( $TWA_E$ ) و مغناطیسی ( $TWA_B$ ) را از مجموع حاصل ضرب میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در نقاط اندازه گیری در پارامتر وزنی می‌توان بدست آورد.

$$TWA_E = \sum_{i=1}^N w_i |E_i| \quad (1)$$

$$TWA_B = \sum_{i=1}^N w_i |B_i| \quad (2)$$

پارامتر وزنی بیان می‌کند که چه کسری از زمان را اپراتور (به طور متوسط در طول یک شیفت) در یک نقطه خاص صرف می‌کند. با این فرض که اپراتورهای شاغل در هر پست، وظایف چرخشی انجام می‌دهند، لذا مواجهه هر اپراتور با میدانهای ELF در هر شیفت با مواجهه دیگر اپراتورها در همان شیفت، یکی است. با این فرض مواجهه طولانی مدت اپراتورها با میدانهای مغناطیسی و الکتریکی را می‌توان بوسیله مشاهده وظایف انجام شده در نقاط معین، تخمین زد.

$$W_i = \frac{t_i}{12h} \quad (3)$$

که  $t_i$  میانگین زمان صرف شده برای یک وظیفه خاص (بر حسب ساعت) و ۱۲ ساعت مدت یک شیفت کاری است. بر این اساس می‌توان میانگین وزنی زمانی چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی را برای اپراتورهای هر یک از پستهای انتقال و فوق توزیع برق بدست آورد.

استخراج شده از الکتروکاردیوگرام با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### ۳- نتایج

میانگین و انحراف معیار پارامترهای استخراج شده از الکتروکاردیوگرام اپراتورها نیز در جدول (۱) و نتایج حاصل از میانگین وزنی زمانی مواجهه با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی برای اپراتورهای شاغل در پستهای مورد نظر در جدول (۲) آورده شده است.

در واحد بهداری شرکت برق منطقه ای از افراد مورد مطالعه در وضعیت استراحت، نوار قلب در اشتقاق II به مدت ۵ دقیقه گرفته شد. ۵ پارامتر از جمله تعداد ضربان قلب در دقیقه، میانگین مدت زمان موج P، میانگین مدت زمان QRS، میانگین مدت زمان فاصله PR و میانگین مدت زمان فاصله QTc از آن استخراج شد. از آنجایی که فاصله QT با افزایش یا کاهش تعداد ضربان قلب، تغییر می کند، بایستی آن را تصحیح کرد، برای این منظور از معادله بازلت استفاده می شود.

آنالیز رگرسیون چند گانه میانگین وزنی زمانی شدت میدان های مغناطیسی و الکتریکی، سن و سابقه کار با ۵ پارامتر

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار پارامترهای استخراج شده از الکتروکاردیوگرام

تعداد ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	موج P (ثانیه)	فاصله PR (ثانیه)	موج QRS (ثانیه)	فاصله QTc (ثانیه)	
۷۴/۳۲	۰/۰۸۳۹	۰/۱۲۱۴	۰/۱۱۳۱	۰/۴۲۳۶	میانگین
۱۱/۶۹	۰/۰۲۴۰	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۳۲	۰/۰۳۸۰	انحراف معیار

مغناطیسی باعث افزایش زمان فاصله PR و QTc می شود. اما چنانچه از ضرایب استاندارد شده نیز بر می آید، بیشترین تغییر ایجاد شده در زمان فاصله PR به ترتیب مربوط به سن، سابقه کار و مواجهه با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی است، این در حالی است که بیشترین تغییر ایجاد شده در زمان فاصله QTc مربوط به مواجهه با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و سپس سابقه کار است.

جهت بررسی اثر همزمان مواجهه طولانی مدت با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ELF، از آنالیز رگرسیون چند گانه همزمان (روش Back ward) برای پیش بینی اثرات همزمان و تعدیل شده میانگین وزنی زمانی مواجهه با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی، سن و سابقه کار بر تک تک پارامترهای استخراج شده از سیگنال الکتروکاردیوگرام استفاده شد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

همانطور که از نتایج مشخص است، بین سن و زمان موج QRS همبستگی معکوس وجود دارد. این بدین معنا است که با افزایش هر واحد سن، زمان موج QRS به میزان ۰/۰۰۰۵۲۴ ثانیه کاهش می یابد. اما نتایج بدست آمده نشان می دهد که در پیش بینی زمان فاصله PR و QTc، بایستی مداخله چندین متغیر را در نظر گرفت. طبق نتایج بدست آمده، افزایش مواجهه طولانی مدت با میدانهای الکتریکی و

تغییرات الکتروکاردیوگرام با میدان الکترومغناطیسی

جدول ۲- میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته شدت RMS میدان الکتریکی و مغناطیسی اپراتورهای شاغل در پستهای مختلف

انحراف معیار	میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته		میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته		اپراتورهای پستهای مختلف
	شدت میدان مغناطیسی (میکروتسلا)	انحراف معیار	شدت میدان الکتریکی (ولت بر متر)	انحراف معیار	
۰/۱۱۴۵	۲/۱۱	۲۱/۹۵	۵۲۸/۶۸		اپراتورهای پست ۶۳ کیلو ولت جنوب
۰/۲۵۴۸	۱/۷۵۶	۱۴/۴۹۸	۲۲۷/۹۳		اپراتورهای پست ۶۳ کیلو ولت جهان آباد
۰/۱۵۱۲	۱/۶۳	۹/۷۴۸	۹۴/۳۱۸		اپراتورهای پست ۶۳ کیلو ولت اردکان
۰/۱۸۹۵	۱/۵۴	۳۲/۶۸	۳۳۲/۲۵		اپراتورهای پست ۶۳ کیلو ولت شمال
۰/۱۶۹۰	۲/۰۳۷۵	۱۵/۱۰۵	۳۸۰/۱۲۷		اپراتورهای پست ۶۳ کیلو ولت دروازه قرآن
۰/۲۱۱۷	۱/۴۹۷	۸۶/۹۲	۷۶۳/۹۹		اپراتورهای پست ۱۳۲ کیلو ولت بافق
۰/۲۳۳۹	۲/۱۹۵	۱۶۵/۸۶	۱۰۲۰/۵۷۵		اپراتورهای پست ۲۳۰ کیلو ولت شمال
۰/۲۳۳۹	۲/۰۶	۱۳۲/۸۰	۱۲۳۵/۹۱		اپراتورهای پست ۲۳۰ کیلو ولت اردکان
۰/۳۷۱۴	۱/۹۱۷	۴۲۷/۴۲	۲۹۵۰/۰۴		اپراتورهای پست ۴۰۰ کیلو ولت یزد ۱
۰/۵۷۵۱	۳/۱۰۷	۸۷۸/۹۴	۴۱۴۶/۴۱		اپراتورهای پست ۴۰۰ کیلو ولت یزد ۲

جدول ۳- نتایج آنالیز رگرسیون چند گانه همزمان همه متغیرهای مستقل با تک تک متغیرهای وابسته

متغیرهای مستقل	متغیر وابسته	مجدور ضریب همبستگی R	ضریب رگرسیون جزئی B	خطای انحراف معیار	ضرایب استاندارد شده ( $\beta$ )
سن			۰/۰۰۱۵۲	۰/۰۰۱	۰/۵۵۹
سابقه کار			۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۰۱	-۰/۴۵۶
میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته میدان مغناطیسی	فاصله PR	۰/۲۷۸	۰/۰۰۹۱۱	۰/۰۱۴	۰/۱۸۶
میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته میدان الکتریکی			۰/۰۰۰۸۹۳	۰/۰۰۰	۰/۲۸۴
سن	موج QRS	۰/۰۳۴	-۰/۰۰۰۵۲۴	۰/۰۰۰	
سابقه کار			۰/۰۰۱۰۱	۰/۰۰۰	۰/۲۳۵
میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته میدان مغناطیسی	فاصله QT <sub>C</sub>	۰/۳۳۹	۰/۰۳۸۵	۰/۰۱۹	-۰/۵۶۸
میانگین وزنی زمانی ۱۲ ساعته میدان الکتریکی			۰/۰۰۱۷۱	۰/۰۰۱	-۰/۷۵۹

۴- بحث و نتیجه گیری

خطی وجود دارد. از طرفی افزایش مدت مواجهه با میدانهای ELF با افزایش این فواصل در ارتباط است. بورجانویک و نادیک در سال ۲۰۰۵، نحوه تغییرات الکتروکاردیوگرام را در

نتایج بدست آمده نشان می دهد که بین مواجهه با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و زمان فاصله PR و QT<sub>C</sub> یک رابطه

سه گروه از افرادی که در مواجهه ۸ ساعته با میدانهای مغناطیسی با شدت های مختلف قرار داشتند، مورد مطالعه قراردادند [۸]. میانگین وزنی زمانی ۸ ساعته شدت میدان مغناطیسی به عنوان شاخص مواجهه برای هر یک از گروه ها محاسبه شد. میانگین وزنی زمانی برای این گروه ها به ترتیب، ۰/۰۶۷، ۱/۱۸ و ۵/۲ میکرو تسلا تخمین زده شد. نتایج بدست آمده حاکی از این بود که بین افزایش شدت میدان و تغییرات ایجاد شده در فاصله QTc، یک رابطه غیر خطی وجود دارد. نتایج مشابهی از مطالعه گراهام و همکارانش در سال ۱۹۹۴ بدست آمد و این فرضیه را مورد بررسی قرار داد که آیا پاسخهای بیولوژیک انسانی به تماس در سطوح خاصی از شدت میدانها وابسته است [۲]. برای این منظور سه گروه یکسان که در هر یک گروه ۱۸ مرد قرار داشتند، مورد مطالعه قرار گرفتند. هر گروه بعد از یک تماس ساختگی، در دو جلسه ۶ ساعته، در معرض تماس با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی با شدتهای مختلف قرار گرفتند. گروه پایین (۱۰ میکرو تسلا و ۶ کیلو ولت بر متر)، گروه متوسط (۲۰ میکرو تسلا و ۹ کیلو ولت بر متر) گروه بالا (۳۰ میکرو تسلا و ۱۲ کیلو ولت بر متر) نتایج بدست آمده بسیار جالب توجه بود. یک کاهش قابل توجه در تعداد ضربان قلب افرادی که در گروه ۲ قرار داشتند مشاهده می شد، اما کاهشی در تعداد ضربان قلب افراد دیگر گروه ها مشاهده نمی شد. نکته بسیار مهمی که در این مطالعه به چشم می خورد، این بود که قسمت اعظمی از فاصله بین موج R تا T در الکتروکاردیوگرام افرادی که در گروه متوسط قرار داشتند، از حالت طبیعی خارج شده بود، اما در الکتروکاردیوگرام افراد دیگر گروه ها، این حالت دیده نمی شد.

نتایج بدست آمده در این مطالعه را نمی توان مستقیماً با نتایج گراهام و بوجانوویک مقایسه کرد. در مطالعه گراهام، تماس افراد مورد مطالعه با میدانهای ELF بصورت کوتاه مدت و

کنترل شده است، حال آنکه در این مطالعه، تغییرات الکتروکاردیوگرام را در محیط کار و به صورت تماس طولانی مدت و غیر کنترل شده مورد بررسی قرار دادیم. از این نظر این مطالعه شبیه مطالعه بوجانوویک است، اما آنها تنها به بررسی اثرات میدانهای مغناطیسی پرداخته بودند و اثرات همزمان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را مد نظر قرار ندادند. دلیلی که باعث می شود اثرات همزمان میدانها مدنظر قرار گیرد، این است که اثرات حاصل از هر یک از میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به صورت مجزا با تغییرات ایجاد شده در فاز رپلاریزاسیون سیکل قلبی مرتبط است. می توان بر اساس دو مکانیسم بیوفیزیکی برهم کنش میدانهای ELF تا حدودی تغییرات ایجاد شده در فاز رپلاریزاسیون قلبی را توضیح داد.

بر اساس تحقیقات دیمیتریس ج. پاناگوپولوس، یک میدان الکتریکی نوسانی بیرونی می تواند نیروی نوسانی را بر هر یک از یونهای آزاد که در هر دو طرف ممبرانهای پلاسما قرار دارند، اعمال کند [۹]. این یونهای آزاد می توانند از میان ممبران و از طریق پروتئینهای ترانس ممبران، عبور کنند. این نیروی نوسانی بیرونی یک ارتعاش اجباری (واداشته) را بر روی هر یک از یونهای آزاد، ایجاد خواهد کرد. وقتی که دامنه حرکت ارتعاشی واداشته از یک مقدار بحرانی فراتر رود، یونهای به نوسان در آمده می توانند یک سیگنال کاذب را ایجاد کنند که باعث باز و بسته شدن دریچه کانالهایی شود که دریچه این کانالها، حساس به ولتاژ هستند. به این طریق تعادل الکتروشیمیایی ممبران پلاسما و نهایتاً عملکرد کل سلول، دستخوش تغییر و بی نظمی قرار می گیرد. طبق مطالعه انجام شده، میدانهای الکتریکی نوسانی با فرکانسهای کمتر از ۱۰۰۰ هرتز می توانند حتی در شدتهای خیلی کم نیز بیو اکتیو باشند.

لیدنو (۱۹۹۱) و بلک من و همکارانش (۱۹۹۴) بر اساس مکانیسم تشدید سیکلوترون یونی<sup>۱</sup> بیان کردند که در اثر

1 - Ion Cyclotron Resonance (ICR)



زمین و طیف فرکانسی آن، به عنوان یک پارامتر در بروز این تغییرات در نظر گرفت.

علاوه بر سیستم هدایت اختصاصی قلب، رشته های عصبی خودکار، ریتم قلب را نیز کنترل می کنند. افزایش فعالیت سمپاتیک منجر به افزایش تعداد ضربان قلب و کوتاهی زمان هدایت گره دهلیزی - بطنی می شود. افزایش فعالیت پاراسمپاتیک منجر به کاهش تعداد ضربان قلب و کندی هدایت در گره دهلیزی - بطنی می شود.

بسیاری از محققین معتقدند، میدانهای الکترومغناطیس می توانند عملکرد سیستم اعصاب خودکار (سمپاتیک/پاراسمپاتیک) را در پاسخ به سیستم قلبی - عروقی تحت تاثیر قرار دهند. ارزیابی سیگنال HRV<sup>2</sup> (تغییرات نرخ ضربان قلب) یک روش مطمئن را برای ارزیابی سیستم کنترل اعصاب خودکار قلبی، در اختیار قرار می دهد. به عنوان مثال سستر و همکارانش در سال ۱۹۹۸، اثرات حاصل از تماس با میدان مغناطیسی را بر روی مولفه های طیفی سیگنال HRV مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که در افرادی که در تماس موقتی با میدانهای مغناطیسی قرار داشتند با کاهش فعالیت اعصاب سمپاتیک و افزایش فعالیت عصب واگ روبرو شده اند [۱۳]. البته در این زمینه نتایج بالعکسی نیز بدست آمده است. در کل بایستی به این نکته توجه داشت که برای بررسی اثرات میدانهای الکترومغناطیسی بر قلب نباید نقش تاثیر میدانها را بر اعصاب خود کار نادیده گرفت.

نکته دیگری که در این مطالعه باید به آن توجه شود، پیچیدگی میدانهای الکترومغناطیس است. تماس با میدانهای ELF در میدان نزدیک به توزیع میدانهایی با یک طیف فرکانسی پیچیده، اشاره دارد. وقتی که یک اپراتور از یک نقطه به سمت نقطه دیگری حرکت می کند، وضعیت نسبی بدنش نسبت به بردار میدان مغناطیسی و الکتریکی تغییر می کند. در این صورت شاخص مواجهه میانگین وزنی زمانی شدت

تماس با ترکیبی از میدانهای مغناطیسی استاتیکی و متناوب و میدانهای الکتریکی، انتقال یونها را از طریق کانالهای یونی به طور غیر مستقیم تغییر می کند. بر اساس نیروی لورنتس  $F = q(v \times B)$ ، اگر یک بار  $q$  با جرم  $m$  که با سرعت  $v$  در چگالی شار مغناطیسی ثابت (استاتیک)  $B_s$  و در شرایط خلأ حرکت کند، یک مسیر دایره ای شکل با شعاع  $R_c$  را طی خواهد کرد. در این شرایط ذره باردار براساس جرم، شدت میدان و بار الکتریکی، یک سرعت زاویه ای و فرکانس سیکلوترون خواهد داشت.

در میدان مغناطیسی زمین، فرکانس سیکلوترون کمتر از  $f_c = qB_s/m$  برای بسیاری از یونهای مهم فیزیولوژیکی ۱۰۰ هرتز است (شدت میدان مغناطیسی زمین تقریباً ۵۰ میکروتسلا است و وابسته به عرض جغرافیایی است). به عنوان مثال، برای یون کلسیم  $Ca^{2+}$  در میدان ۵۰ میکرو تسلا، فرکانس سیکلوترون،  $38/4$  هرتز است. حال اگر یک میدان الکتریکی یا یک میدان مغناطیسی متناوب،  $B = B_0 \cos \omega t$  با جهتی مشابه  $B_s$  به کار گرفته شود، فرکانس سیکلوترون یون افزایش یافته و نوسانات حاصله باعث تغییر مکان شدید یون در محل خود می شود [۱۰] و [۱۱]. اگر دامنه حرکت ارتعاش بیشتر از  $10^{-12}$  متر باشد، اختلاف ولتاژ لازم را برای عملکرد کانالهای حساس به ولتاژ را ایجاد کرده و عملکرد سلول تحت تاثیر قرار می گیرد. بر اساس مکانیسم مطرح شده، استوارد و همکارانش گزارش دادند که شار یون کلسیم در سلولهای قلب یک قورباغه که در تماس با میدانهایی با محدوده فرکانسی خیلی بالا VHF<sup>1</sup> بوده، در فرکانس ۱۶ هرتز، افزایش می یابد [۱۲]. بر اساس مکانیسمهای بیوفیزیکی مطرح شده، لازم است علاوه بر میدانهای مغناطیسی متغیر با زمان، به شدت میدان مغناطیسی

2 - Heart Rate Variability

1 - Very High Frequency(30MHz- 300MHz)

شود آیا الگوی تماسی خاص می تواند اثرات متفاوتی را به دنبال داشته باشد.

### ۵- تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران برای به خاطر حمایت مالی این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

میدان الکتریکی و مغناطیسی به تنهایی پارامترهای ناکافی برای توصیف مواجهه با میدانهای ELF خواهند بود. متاسفانه بدلیل عدم اندازه گیری بزرگی بردار میدانها، امکان ارزیابی این فرضیه بر اساس اطلاعات جمع آوری شده وجود ندارد. در طراحی مطالعات آینده، پیشنهاد می شود از یک دزیتر فردی که دارای سه سیم پیچ کاوشگر است استفاده شود، تا مشخص

### منابع

1. Jauchem J. Exposure to Extremel low- Frequency Electromagnetic Fields and Radiofrequency Radiation: Cardiovascular Effects in Humans. *Int Arch Occup Environ Health* (1997);70 :9-21.
2. Graham C, Cook M, Cohen H, Gerkovich M. Dose Response Study of Human Exposure to 60 Hz Electric and magnetic fields. *BEM* (1994);15: 447-63.
3. Whittington C, Podd J, raply B. Acute Effects of 50 Hz Magnetic Field Exposure on Human Visual Task and cardiovascular performance. *BEM* (17) (1996), 131-7.
4. Kavet R, Graham C, Cook M, Sastre A, Gerkovich A. Cardiac Autonomic Control Mechanisms Inpower-Frequency Magnetic Fields: a Multistudy Analysis *Environ. Health Perspect* (108)(2001), 737-42.
5. Jehenson P, Duboc D , Lavergne T, Guise L, Guerin F, Degeorges M , Syrota A. Change in Human Cardiac Rhythm Induced by a 2-T Static Magnetic Field. *Radiology* (166)(1988) , 227-32.
6. Savitz D, Sastre A, Kleckner R, Kavet R. Magnetic Field Exposure and Cardiovascular Disease Mortality Among Electric Utility Workers. *J Epidemiologic* (149)(1995), 135-42.
7. Whittington C, J Podd.. Human Performance and Physiology: a Statistical Power Analysis of ELF Electromagnetic Field Research. *BEM* (17) (1996), 274-78.
8. Srdjan S. Borjanovic B, Srjan M. ECG Changes in Humans Exposed to 50 HZ Magnetic Fields. *J Occu Health* (47)(2005), 391-96.
9. Panagopoulos D, Messini N, Karabarbounis A, Alexandros L, Lukas H A. Mechanism for Action of Oscillating Electric Fields on Cells. *Biochem and Biophy Res Comm* (272)(2000), 634-40.
10. Lednev V. Possible Mechanism for the Influence of Weak Magnetic Fields on Biological Systems. *BEM* (12)(1991), 71-75.
11. Blanchard J, Blackman C. Clarification and Application of an Ion Parametric Resonance Model for Magnetic Field Interactions with Biological Systems. *BEM* (15)(1997), 217-38.
12. Schwartz J, House D, Mealing G. Exposure of Frog Heart to CW or Amplitude – Modulated VHF Fields: Selective Efflux of Calcium Ions at 16 Hz . *BEM* (11)(1990), 349-58.
13. Sastre A, Cook M, Rife. Variation in Magnetic Field Frequency: Effects on Heart Rate Variability. Paper presented at the 20th annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Pete Beach, FL(1998) (Abstract P-54B).