

اثر میدان‌های مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال برق بر اعصاب حرکتی محیطی

حسین مهرداد - محمدمهدی حسینیان ذکریا
دانشگاه آزاد اسلامی تبریز - دانشکده علوم پزشکی
ایران

کلیدواژه: میدان مغناطیسی EIF، اعصاب حرکتی محیطی، خطوط انتقال برق

خلاصه

با توجه به توسعه روزافزون خطوط انتقال برق در کشور و تابش‌گیری اجتناب‌ناپذیر پرسنل شاغل در نیروگاه‌ها و شبکه‌های توزیع برق، از تشعشعات مغناطیسی حاصل از جریان‌های سینوسی و متناوب این خطوط انتقال (EIF)، بررسی دقیق و همه‌جانبه اثرات این نوع میدان‌ها بر خواص و عملکرد بافت‌های مختلف بدن انسان، مخصوصاً بافت عصبی، از لحاظ حفظ سلامتی و بهداشت پرسنل فوق‌الذکر لازم و ضروری می‌باشد. براساس همین نیاز، تحقیقی بر روی تأثیر این میدان‌ها بر اعصاب حرکتی محیطی انجام پذیرفت. در این تحقیق اثر میدان مغناطیسی EIF با فرکانس ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ میکروتسلا بر روی زمان تأخیر و سرعت هدایت الکتریکی عصب حرکتی محیطی مدیان ۵۰ نفر از افراد سالم (با قرار دادن میچ دست چپ آنها در محدوده فضای بین یک جفت سیم پیچ هلمهولتز) در دو حالت بدون اعمال میدان و با اعمال میدان، با دستگاه تحریک و ثبت الکترومیوگرافی بررسی گردید. نتایج بررسی منحنی‌های پاسخ دستگاه الکترومیوگرافی نشان می‌دهند که اعمال میدان باعث کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) زمان تأخیر عصب مدیان در ۸۴ درصد

افراد تحت مطالعه می‌گردد. علت این کاهش تأثیر میدان مغناطیسی EIF به غشاء عصب و القای جریان الکتریکی در آن و در نتیجه افزایش تحریک‌پذیری عصب مدیان می‌تواند باشد. همچنین میدان‌های مغناطیسی EIF باعث افزایش ارتعاشات میانجی‌های عصبی از جمله استیل کولین در فضای سیناپسی عصبی عضلانی شده و در نتیجه زمان تماس آنها با غشاء فیبرعضلانی را سرعت می‌بخشند. یکی دیگر از دلایل کاهش زمان تأخیر، افزایش سرعت انقباض فیبرهای عضلانی بواسطه حضور میدان‌های مغناطیسی EIF می‌باشد.

مقدمه

با افزایش جمعیت کشور و نیاز به انرژی افزون‌تر، توسعه نیروگاه‌های برق و خطوط انتقال برق امری است کاملاً ضروری. همچنین پیشرفت تکنولوژی باعث رشد سریع محصولات و وسایل الکتریکی و مغناطیسی شده است که همه روزه در منازل، محل کار، صنایع، مخابرات، بیمارستانها و ... مورد استفاده عموم قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه، اغلب افراد به‌طور ناخودآگاه در معرض تشعشعات میدان‌های مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال برق و وسایل الکتریکی

میانجی‌های GABA و BZD، افزایش می‌دهد [۱۲]. با توجه به نتایج تحقیقات فوق‌الذکر و با در نظر گرفتن اهمیت سلامتی و بهداشت پرسنل شاغل در نیروگاه‌ها و شبکه‌های توزیع برق و افرادی که به هر نحو در معرض این تشعشعات قرار دارند، تحقیقی بر روی تأثیر میدان‌های مغناطیسی EIF بر روی زمان تأخیر و سرعت هدایت الکتریکی اعصاب حرکتی محیطی بدن انسان انجام پذیرفت. در این تحقیق شدت میدان مغناطیسی EIF، ۱۰ میکروتسلا انتخاب گردید (مقدار ثبت‌شده در زیر خطوط انتقال برق). برای تولید این شدت میدان از یک جفت سیم‌پیچ هلمهولتز استفاده گردید.

مواد و روش

روش مورد مطالعه در این تحقیق، تجربی تحلیلی بوده و جامعه مورد مطالعه از میان دانشجویان دانشگاه آزاد اسلامی تبریز (۵۰ نفر) در محدوده سنی ۲۰-۳۵ سال و فاقد هرگونه سابقه بیماری قبلی انتخاب شدند. علت انتخاب افراد غیرشاغل در نیروگاه‌ها و شبکه‌های انتقال برق، به خاطر تطابق بافت عصبی این افراد با میدان‌های مغناطیسی و احتمال عدم دریافت جواب معنی‌دار در خصوص اثرات میدان‌های مغناطیسی می‌باشد. لذا از افرادی در این آزمایش استفاده گردید که هیچگونه سابقه تشعشع و پرتوگیری نداشته و میدان مذکور اولین بار بر روی بافت عصبی آنها اعمال می‌گردید. لذا با انجام چند آزمایش مقدماتی و با احتمال شیوع ۵ درصد تعداد نمونه‌ها برای انجام آزمایش نهایی، از طریق فرمول‌های آماری ۵۰ نفر به دست آمد. ضرورت اولیه در این تحقیق، فراهم نمودن یک سیستم تولید میدان مغناطیسی EIF به شدت ۱۰ میکروتسلا بود. علت این انتخاب، برابری آن با شدت ناشی از خطوط انتقال برق می‌باشد. برای این منظور و اختصاص یک فضای کافی برای اعمال میدان به شاخه انتهایی سطحی عصب حرکتی محیطی مدیان مچ دست چپ افراد، از دو سیم‌پیچ هلمهولتز، هر کدام به قطر ۸۰cm و به فاصله مراکز دو سیم‌پیچ به مقدار ۴۰cm، با تعداد دور هر کدام ۸۰۰ دور استفاده گردید. شدت جریان لازم برای تولید این میدان توسط منبع تغذیه (۲۵۰V-۰) AC که به یک آمپلی‌فایر متصل

قرار می‌گیرند، لازم است مطالعات وسیعی در خصوص اثر میدان‌های مغناطیسی بر بافت‌های مختلف بدن، از جمله بافت عصبی انجام پذیرد. میدان‌های مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق و وسایل برقی اغلب از نوع میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (Extremely Low Frequency EIF) می‌باشند. شدت متوسط میدان‌های EIF موجود در اطراف کره زمین حدود ۰/۱ نانوتسلا می‌باشند. در منازل و محل کار، میدان‌های EIF با فرکانس ۵۰ هرتز، دارای شدتی بین ۰/۱ تا ۰/۳ میکروتسلا هستند [۱].

وسایل الکتریکی خانگی نیز میدان‌های EIF با فرکانس ۵۰ هرتز و شدتی بین ۵۰ تا ۱۵۰ میکروتسلا تولید می‌نمایند که با افزایش فاصله از آنها، این شدت به سرعت کاهش می‌یابد. در زیر خطوط انتقال برق و در روی زمین شدت میدان مغناطیسی EIF برای خطوط ۷۶۵ کیلوولت، به ۳۰ میکروتسلا و برای خطوط ۳۸۰ کیلوولت به ۱۰ میکروتسلا می‌رسد [۲]. در اطراف نیروگاه‌های برق شدت متوسط میدان EIF، ۴۰ میکروتسلا و مقدار ماکزیمم آن به ۲۷۰ میکروتسلا می‌رسد. در برخی کارخانجات جوشکاری، کارگران شدت‌های ۱۳۰ میلی‌تسلا نیز دریافت می‌کنند [۲].

شواهدی وجود دارند که نشان می‌دهند، میدان‌های مغناطیسی EIF حتی در شدت‌های کم، در طولانی مدت می‌توانند سیستم‌های بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و خطراتی برای سلامتی انسان ایجاد کنند [۳]. همچنین علایمی مبنی بر تأثیر میدان‌های مغناطیسی EIF ناشی از خطوط انتقال برق بر شیوع سرطان خون و تومورهای مغزی [۴]، سرطان سینه [۶٪] و ملانوما پوست [۹،۸٪] مشاهده شده‌اند. میدان مغناطیسی EIF با فرکانس ۵۰ هرتز به عنوان محرک شیوع سرطان از طریق برهم‌کنش و تأثیر بر ارتباط یونی و شیمیایی بین سلول‌ها (Gap Junction Intracellular Communication) نیز عمل می‌کند [۱۱٪۰]. برخی محققان نشان داده‌اند که میدان‌های EIF با سیستم عصبی مرکزی برهم‌کنش انجام می‌دهند. به عنوان مثال، میدان‌های EIF در جوجه‌های دو روزه، باعث القای خواب در آنها شده و میزان کلونیدون را از طریق تغییر در سیستم رسپتوری

پولیسیس برویس و الکتروود غیرفعال (مرجع) روی تاندون این عضله قرار گرفتند. دو نقطه S_1 و S_2 یکبار بدون حضور میدان و بار دیگر در حضور میدان برای افراد تحت آزمایش، تحریک، و منحنی پاسخ، ثبت، و زمان تأخیر از روی نمودار منحنی محاسبه گردید. زمان تأخیر ثبت شده حاصل جمع سه زمان می باشد: زمان تأخیر انتقال سیگنال در طول عصب میدان، زمان تأخیر انتقال سیگنال در ناحیه شکاف اتصال عصبی عضلانی و زمان تأخیر انتقال سیگنال در فیبر عضلانی. برای محاسبه سرعت هدایت الکتریکی، بایستی فاصله بین نقطه تحریک و ثبت به دقت اندازه گیری و بر زمان تأخیر تقسیم شود. مدت زمان قرار گرفتن میچ دست افراد برای دو حالت بدون میدان و با اعمال میدان، ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. در انتهای این زمان، تحریک و ثبت انجام گرفت و در مدت آزمایش، شخص تحت آزمایش از اعمال میدان بی خبر نگاه داشته شد.

نتایج

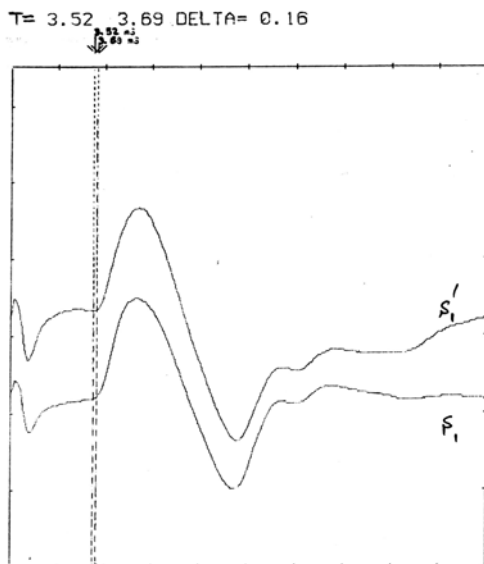
در این بررسی تعداد ۵۰ نفر از افراد سالم از دانشجویان دانشگاه آزاد اسلامی تبریز که از طریق پرسشنامه انتخاب شده بودند مورد مطالعه قرار گرفته و به سه گروه سنی ۲۴-۲۰ سال، ۲۹-۲۵ سال و ۳۴-۳۰ سال و به دو گروه قدی ۱۷۰-۱۵۰ و ۱۷۱ سانتی متر به بالا تقسیم شدند. متغیرهای فردی از جمله سن، قد و وزن توسط پرسشنامه از داوطلبین جمع آوری گردید. آزمایشات در منطقه شاخه انتهایی سطحی عصب میدان برای دو نقطه تحریک S_1 و S_2 انجام شد. شکل های ۱ و ۲ دو نمونه از منحنی های ثبت شده همراه با پارامترهای زمان تأخیر و سرعت هدایت الکتریکی عصب میدان را نشان می دهند.

در این مطالعه جهت آزمون فرضیه ها از روش t زوج استفاده گردید. با بررسی و اندازه گیری های به عمل آمده از منحنی های پاسخ دستگاه الکترومیوگرافی نتایج زیر بدست آمد:

۱- اعمال میدان مغناطیسی یکنواخت ۱۰ میکروتسلا موجب کاهش زمان تأخیر عصب میدان ۷۸ درصد افراد مورد

بود تأمین و توسط آمپر متر به دقت کنترل گردید. همچنین پارامترهای ولتاژ، جریان و شکل موج اعمالی به سیم پیچ ها توسط اسیلوسکوپ تحت کنترل قرار داشتند. برای کنترل شدت میدان مغناطیسی فضای درون سیم پیچ ها از تسلا متر Holaday HI-3350 با دقت ۰/۰۱ میکرو تسلا استفاده گردید. دمای اطراف سیم پیچ ها که ناشی از مقاومت الکتریکی سیم پیچ ها بود توسط ترمومتر کنترل و با یک سیستم تهویه داخل محوطه آزمایش، همیشه دمای سیستم روی 30°C ثابت نگاه داشته شد. یکنواختی توزیع میدان مغناطیسی EIF بین سیم پیچ های هلمهولتز، توسط تسلا متر، بررسی و طرحی کامپیوتری از توزیع شدت میدان بدست آمد. بررسی نقشه توزیع میدان نشان داد که شدت میدان در فضای بین دو سیم پیچ و در کنار محور آنها تقریباً یکنواخت و به مقدار ۱۰ میکروتسلا بوده و به تدریج که از مرکز دور می شویم، از یکنواختی آن کاسته می شود. بر همین اساس، میچ دست افراد تحت آزمایش در دایره ای به فاصله شعاعی ۲۵cm از محور مرکزی سیم پیچ ها قرار گرفت. روش مطالعه زمان تأخیر و سرعت هدایت الکتریکی سیستم عصبی عضلانی عبارتست از دپلاریزه کردن فیبرهای عصب مربوطه توسط یک تحریک الکتریکی و نمایش پاسخ حاصل از برانگیخته شدن آن، که در این تحقیق توسط دستگاه الکترومیوگرافی انجام پذیرفت. زمان تأخیر عبارتست از مدت زمان لازم برای انتقال سیگنال عصبی از لحظه شروع تحریک تا ثبت آن توسط الکتروود ثبات. الکتروودهای ثبات (شامل دو الکتروود فعال و غیرفعال) و زمین بر روی مسیر عصب میدان تا فیبر عضلانی در نقاطی مشخص، متصل گردیدند. قبل از اتصال الکتروودها، محل اتصال با الکل تمیز و سپس محل مذکور با ژلهادی مخصوص آغشته گردید. بر روی مسیر عصب میدان دو نقطه S_1 و S_2 انتخاب گردیدند. S_1 بالاتر از چین دوم میچ، بین تاندون های فلکسور کاردیال رادیالیس و پالماریس لونکوس (تقریباً ۷cm بالاتر از الکتروود فعال ثابت) و S_2 در مسیر عصب ۴cm بالاتر از محل تحریک اول (تقریباً ۱۱cm بالاتر از الکتروود فعال ثابت) قرار گرفت. الکتروود زمین پشت دست بسته شد و الکتروود فعال روی برجستگی عضله ابداکتور

۵- تأثیر پارامتر قد بر میزان تغییرات زمان تأخیر شاخه انتهایی عصب مدیان در دو گروه قدی ۱۷۰-۱۵۰ سانتیمتری و ۱۷۱ سانتی‌متر به بالا در افراد مورد مطالعه از لحاظ آماری معنی‌دار نباشد.



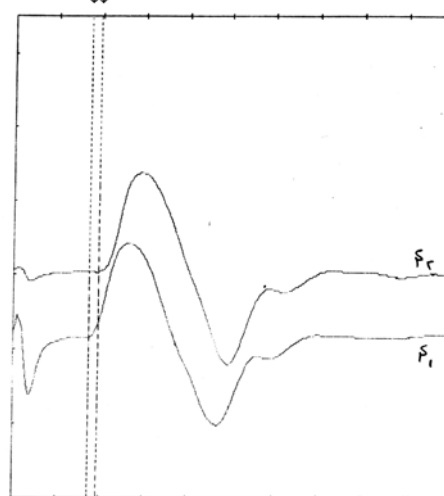
شکل ۲. منحنی‌های پاسخ ثبت شده توسط دستگاه الکترومیوگرافی قبل از اعمال میدان و در حین اعمال میدان برای نقطه تحریک S_1 ، مقدار زمان تأخیر قبل از اعمال میدان $3/52$ میلی‌ثانیه (S_1) و در حین اعمال میدان $3/69$ میلی‌ثانیه (S_1') می‌باشد که به اندازه $0/17$ میلی‌ثانیه کاهش یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در خصوص چگونگی مراحل تحریک و ثبت پتانسیل عمل از دیدگاه الکتروفیزیولوژی باید گفت که: سیستم عصبی و بطور کلی نورون‌ها جهت برقراری ارتباط از سیگنال‌های الکتریکی و شیمیایی استفاده می‌کنند. سیگنال‌های الکتریکی مربوط به تغییر غلظت یونها در داخل غشاء نورونی بوده و ترکیبات شیمیایی به عنوان سیگنال‌های بین نورونی عمل می‌کنند. نورون‌ها دارای غشایی با دو لایه لیپو پروتئین می‌باشند. به هنگام استراحت، سلول‌های عصبی در طرف خارج غشاء از بار مثبت و در طرف داخل از بار منفی برخوردارند. هنگامی که یک سلول عصبی با تحریک الکتریکی دپلاریزه می‌شود، یون‌های Na^+ از طریق کانال‌های سدیمی حساس به ولتاژ به داخل سلول رفته و بارهای مثبت در داخل سلول تجمع پیدا می‌کنند و باعث دپلاریزاسیون

مطالعه در نقطه S_1 و 84 درصد افراد در نقطه S_2 می‌شود. میزان این کاهش برای نقطه تحریک S_1 ، $4/8$ درصد و برای نقطه تحریک S_2 ، $3/6$ درصد است. همچنین ماکزیمم کاهش در زمان تأخیر $0/34$ میلی‌ثانیه و مینیمم کاهش $0/06$ میلی‌ثانیه می‌باشد. این تغییرات در زمان تأخیر، با آزمون t زوج با حدود اطمینان 95 درصد مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار در زمان تأخیر کل، از نقطه تولید سیگنال عصبی (نقاط S_1 و S_2) تا نقطه ثبت آن (الکترودهات) می‌باشد.

T= 3.52 3.94 DELTA= 0.42
D=4.0 CM NCU=95.23



شکل ۱. منحنی‌های پاسخ ثبت شده توسط دستگاه الکترومیوگرافی قبل از اعمال میدان برای دو نقطه تحریک S_1 و S_2 ، مقدار زمان تأخیر برای نقطه تحریک S_1 ، $3/52$ میلی‌ثانیه و برای نقطه تحریک S_2 ، $3/94$ میلی‌ثانیه می‌باشد. سرعت هدایت عصب $95/23$ متر بر ثانیه می‌باشد.

۲- اعمال میدان مغناطیسی یکنواخت 10 میکروتسلا در 65 درصد افراد مورد مطالعه، موجب افزایش سرعت هدایت الکتریکی میانگین سیگنال عصبی در 78 درصد افراد مورد مطالعه در نقطه S_1 و 84 درصد افراد در نقطه S_2 می‌شود.

۳- اعمال میدان مغناطیسی یکنواخت 10 میکروتسلا موجب افزایش سرعت هدایت الکتریکی سیگنال عصبی در فاصله S_1 تا S_2 (روی خود عصب مدیان) می‌گردد.

۴- تأثیر پارامتر سن بر میزان تغییرات زمان تأخیر شاخه انتهایی عصب مدیان در سه گروه سنی $20-24$ سال، $25-29$ سال و $30-34$ سال در افراد مورد مطالعه از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

سن ۶۰ سالگی میزان متوسط سرعت هدایت الکتریکی نسبت به اشخاص زیر ۶۰ سال کندتر می‌شود. همچنین رابطه مستقیمی بین دما و سرعت هدایت اعصاب میلیه وجود دارد، به طوری که به ازای افزایش هر درجه سانتی‌گراد دما، سرعت هدایت به میزان ۰/۷ تا ۲/۴ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. سرعت هدایت فیبرهای عضلانی ۳ تا ۵ متر بر ثانیه بوده و مدت زمان ایجاد پتانسیل عمل در عضله اسکلتی بین ۱ تا ۵ هزارم ثانیه طول می‌کشد. در این مطالعه با ثابت نگاه داشتن دما، اثر آن بر نتایج آزمایش قابل صرفنظر کردن می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهند بازه تغییرات قد و سن در نظر گرفته شده نمی‌تواند از لحاظ تأثیر بر زمان تأخیر و سرعت هدایت الکتریکی عصب مدیان مؤثر باشند. با در نظر گرفتن شرایط بالا تنها عامل مؤثر در کاهش زمان تأخیر در این آزمایش، برهم‌کنش میدان مغناطیسی EIF با بافت عصبی عضلانی می‌باشد. برای توجیه نتایج این تحقیق بایستی ذکر گردد که مهمترین مکانیسم شناخته شده در برهم‌کنش میدان‌های EIF با بافت‌ها، القای جریان الکتریکی متغیر با زمان در آنها است [۱۳]. این جریان القایی باعث تحریک سلول‌های عصبی و فیبرهای عضلانی در افراد تحت پرتوگیری می‌گردد، بدین طریق که میدان EIF در سطح غشاء عصبی ایجاد ولتاژ نموده و اعصاب را وادار به تحریک و هدایت ایمپالس الکتریکی زود هنگام می‌نماید و یا ممکن است با تحریک الکتریکی عضلات، باعث انقباض سریع‌تر آنها گردد [۱۳]. جریان القایی در بافت‌های محیطی بدن انسان در شدت‌های ۱ میکروتسلا به حدود ۱ تا ۲۰ میکروآمپر بر مترمربع می‌رسد [۱۴]. میدان الکتریکی القایی در بافت برای میدان مغناطیسی EIF افقی حدود ۱/۵ برابر در مقایسه با میدان مغناطیسی EIF عمودی است [۱۵]. در این مطالعه میدان مغناطیسی EIF اعمالی بر مچ دست چپ افراد عمودی بوده و انتظار می‌رود در صورت اعمال افقی میدان، نتایج، کاهش بیشتر زمان تأخیر را نسبت به حالت عمودی نشان بدهند. به طور کلی می‌توان گفت که:

کاهش زمان تأخیر و افزایش سرعت هدایت الکتریکی در این تحقیق می‌تواند به علت القای جریان الکتریکی در عصب

می‌شوند و این فرآیند منجر به باز شدن کانال‌های پتاسیمی حساس به ولتاژ شده و افزایش خروج در یون‌های K^+ روی می‌دهد. این وقایع منجر به پیدایش پتانسیل عمل می‌گردد. پتانسیل عمل در طول عصب حرکتی (در این تحقیق عصب مدیان) پیش می‌رود تا به پایانه‌های عصبی واقع بر فیبرهای عضله ابداکتور پولیسیس برویس برسد. هر یک از پایانه‌های عصبی مقدار کمی از یک میانجی عصبی به نام استیل کولین ترشح می‌کنند. استیل کولین بر همان ناحیه از غشای فیبر عضلانی اثر کرده و تعداد زیادی کانال وابسته به استیل کولین را که در مولکول‌های پروتئینی غشای فیبر عضلانی قرار دارند باز می‌کند. باز شدن این کانال‌ها به مقدار زیادی یون سدیم اجازه ورود به غشاء فیبر عضلانی داده و بدین ترتیب یک پتانسیل عمل در فیبر عضلانی شروع می‌شود و موجب آزاد شدن مقدار زیادی کلسیم از شبکه سارکوپلاسمی به درون میوفیبریل‌ها شده و با لغزیدن فیلامانهای اکتین و میوزین بر روی هم انقباض پدید می‌آید. از لحظه تحریک تا موقع ثبت پاسخ حاصل از آن توسط دستگاه الکترومیوگرافی در عصب چندین فرآیند اتفاق می‌افتد: در همان لحظات اولیه حدود ۰/۱ میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا تحریک با شدت آستانه‌ای بتواند ایجاد پتانسیل عمل نماید. این وقت تلف شده را اصطلاحاً زمان بهره‌برداری می‌نامند. سپس این پتانسیل عمل در طول تار عصبی منتشر می‌شود. سرعت هدایت الکتریکی در فیبرهای عصبی از ۰/۲۵ متر در ثانیه در فیبرهای بسیار نازک بدون میلین تا ۱۰۰ متر بر ثانیه در فیبرهای قطور میلین‌دار تغییر می‌کند.

سرعت هدایت در فیبرهای عصبی میلین‌دار تقریباً متناسب با قطر فیبر و در فیبرهای عصبی بدون میلین تقریباً متناسب با جذر قطر فیبر می‌باشد. سرعت هدایت عصب با فاکتورهایی نظیر سن، قد و دما نیز ارتباط دارد. اعصاب طویل دارای سرعت هدایت بسیار کمتری نسبت به اعصاب کوتاه بوده و ارتباط معکوسی بین قد و سرعت هدایت عصبی وجود دارد. سرعت هدایت الکتریکی در هنگام تولد تقریباً نصف افراد بزرگسال می‌باشد و سپس افزایش می‌یابد، به طوری که در سنین ۵-۳ سال به مقدار نرمال بزرگسالان می‌رسد. پس از

7. Feychting.M, Ahlbom.A; Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines; Am J Epidemiol, 1993, 138:467-681.
8. Feychting.M, Ahlbom. A; childhood leukemia and residential exposure to weak extremely low frequency magnetic fields; Environ Health perspect, 1995, 103(suppl 2): 59-62.
9. Hardell.L, Holmberg. B, Malker. H, Paulsson. L.E; Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant disease: an evaluation of epidemiological and experimental findings; Eur J Cancer Rev, 1995, 4(suppl 1):3-107.
10. Li.C.M, Chiang. H, Fu.Y.D, shao. B.J, shi. J.R, yao. G.D; Effects of 50Hz magnetic fields on gap Junctional intercellular communication; Bio-electromagnetics, 1999, 20:290-294.
11. Rajendra. P, sujatha.H.N, Devendranth. D, Gunasekaran. B, sashidhar. R.B, Subramanyam.C, channakeshava; Bio-logical effects of power frequency magnetic fields: Neurochemical and toxicological changes in developing chick embryos; Biomagn Res Technol, 2004, 2(1):1.
12. Min.Y.S., Jeon. J.H, choj.Y.M, Lee. B.C, Huh.J.H, Lee.S.Y, Soho. U.D; The influences of extremely low frequency magnetic fields on chonidine-induced sleep in 2-day-old chicks; Journal of Autonomic pharamacology, 2001, 21:197.
13. Volbery.P.A, Kavet.R, Rafferty.C.N, can; Low level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects?; Raidat Res, 1997, 148:2-21.
14. Xi.W, Stuchly.M.A, Gandji.O.P; Induced electric currents in models of man and rodents from 60 Hz magnetic fields; IEEF Trans Biomed Eng, 1994, 41:1018-1023.
15. Reilly.J.P; Electrical stimulation and electropathology; Cambridge; Cambridge universily press, 1992.

و افزایش تحریک‌پذیری و انتقال سریع ایمپالس‌ها بوده و یا ناشی از تأثیر میدان بر میانجی‌های عصبی و افزایش نوسان و ارتعاش آنها و در نتیجه افزایش سطح تماس مولکولی آنها با غشاء فیبرهای عضلانی باشد [۱۲، ۱۳]. همچنین کاهش زمان تأخیر می‌تواند به علت افزایش قابلیت انقباض فیبرهای عضلانی تحت تأثیر میدان EIF بوده باشد [۱۳]. با توجه به نتایج بدست آمده، حضور درازمدت در برابر تشعشعات مغناطیسی EIF ممکن است باعث تسریع و افزایش حالت تحریک‌پذیری سلول‌های عصبی افراد تحت تابش گردد. بر همین اساس پرسنل و افراد شاغل در نیروگاه‌ها و شبکه‌های توزیع برق نیز، از این اثرات مصون نمی‌باشند. پیشنهاد می‌گردد برای دستیابی به نتایج قطعی، این تحقیق بر روی افراد شاغل در نیروگاه‌ها نیز انجام گیرد تا مشاهده گردد که آیا اعصاب حرکتی محیطی در طول زمان با میدان‌های مذکور تطابق پیدا می‌کنند و یا اینکه همیشه در حال تحریک‌پذیری افزوده تحت اثر میدان باقی می‌مانند.

مراجع

1. N.R.C; Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. National Research Council, Washington: 1996, National Academy press.
2. Simon. N.J; Biological effects of static magnetic fields: a review, International Cryogenic Materials Commission, Inc. Boulder, Colorado, 1992, p284.
3. Pawel.W; Computer dangers; Bite Jur, 1990, 50:53-73
4. Juutilainen.J, Laara.E, Pukkala.E; Incidence of Leukemia and brain tumors in Finnish workers exposed to EIF magnetic field, Int Arch Occup Environ Health 1990, 62:289-293.
5. Tynes.T, Anderson.A; Electromagnetic fields and male breast cancer; 1990, Lancet 336:1596.
6. Demers.P.A, Thomas.D.B, Rosenblatt. K.A; Occupational exposure to EMFs and breast cancer in men; Am J Epidemiol; 1998, 134:340-347