Paramedical Sciences and Military Health
Volume 15, Number 1, 2020

Review Article

Electromagnetic waves a new tool for cellular communications

Najmeh Hadizadeh Shirazi*

Department of Biology, Faculty of Science and Agriculture, Islamic Azad University of Roudehen, Roudehen, Iran

Abstract

Introduction: Many cellular phenomena, such as the onset of cell division or the polymerization of cytoskeletal microtubules, are controlled not only by chemical or electrical connections, but also use long-distance methods such as sending electromagnetic waves. The article is a brief overview of past research and new information and documents published in this field.

Methods and Materials: This review article has been performed by searching electromagnetic waves, cell, cellular connections, cell interaction, cellular biophysics keywords in various data bases such as Scopus, Science Direct, and Google Scholar.

Results: Studies have shown that the presence of electromagnetic waves is directly involved in the initiation and conduction of phenomena such as mitogenetics, mirror cytopathy or death flash and indirectly in other cellular processes.

Discussion and Conclusion: In recent years, research has shown that many cells influence each other's behavior by sending electromagnetic waves together. The existence of such connections can justify many unknown cellular behaviors.

Keywords: Electromagnetic waves, Cell, Cellular connections, Cell interaction, Cellular biophysics

*(Corresponding Author) Najmeh Hadizadeh Shirazi, Department of Biology, Faculty of Science and Agriculture, Islamic Azad University of Roudehen, Roudehen, Iran. E-mail: nhadizade@riau.ac.ir

مجله علوم پیراپزشکی و بهداشت نظامی
سال پانزدهم، شماره یک، ۱۳۹۹

مقاله مروری

امواج الکترومغناطیس ابزاری برای ارتباطات غیر شیمیایی و دوربرد سلول‌ها

نجمه هادی زاده شیرازی*

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم و کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

چکیده

مقدمه: بسیاری از پدیده‌های سلولی مانند آغاز تقسیم سلول و یا پلیمریزاسیون میکروتوبول‌های سازنده اسکلت سلولی، تنها با پدیده‌های شناخته شده‌ای مانند ارتباطات شیمیایی و یا الکتریکی کنترل نمی‌شوند و به نظر می‌رسد که سلول‌ها و اندام‌ها برای تعامل با سایر سلول‌ها و یا بافت‌ها از روش‌های دور برد مانند ارسال امواج الکترومغناطیس نیز استفاده می‌کنند. این مقاله، مروری است کوتاه بر پژوهش‌های گذشته و اطلاعات و اسناد جدیدی که در این زمینه منتشر شده است.

مواد و روش‌ها: برای نگارش این مطالعه مروری ، واژگان کلیدی امواج الکترومغناطیس، سلول، اتصالات سلولی، تعامل سلولی، بیوفیزیک سلولی در پایگاه های اینترنتی، Scopus، Science Direct و Google Scholar جستجو گردید و مقاله حاضر بر اساس آنها نگاشته شده است.

یافته‌ها: مطالعات نشان داده‌اند که وجود امواج الکترومغناطیس در آغاز و هدایت پدیده‌هایی مانند میتوژنتیک، سیتوپاتی آیینه‌ای و یا فلاش مرگ به طور مستقیم و در سایر فرایندهای سلولی به صورت غیر مستقیم دخالت دارند.

بحث و نتیجه‌گیری: بسیاری از سلول‌ها به صورت دور برد و تنها با ارسال امواج الکترومغناطیس با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و بر رفتارهای هم اثر می‌گذارند. وجود چنین ارتباطاتی می‌تواند توجیه کننده بسیاری از رفتارهای ناشناخته سلولی باشد.

کلمات کلیدی: امواج الکترومغناطیس، سلول، اتصالات سلولی، تعامل سلولی، بیوفیزیک سلولی

مقدمه

سیستم‌های بیولوژیکی مانند سلول‌ها می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و بسته به نوع و پیچیدگی سیستم بیولوژیکی و ماهیت اطلاعات، با محیط بی‌جان از طریق مکانیسم‌های مختلف و سطوح مختلف تعامل داشته باشند. شناخته شده‌ترین مکانیسم‌های ارتباط بین سلولی پیام رسانی شیمیایی یا الکتریکی است مانند آنچه که بین نورون‌های مختلف و به منظور انتقال پیام عصبی بین آن‌ها رخ می‌دهد. در مقابل، درک ما از اشکال غیر شیمیایی و غیرالکتریکی ارتباطات بسیار اندک است. در یک سلول زنده هیچ ذره‌ای کاملا بی‌حرکت نیست و حرکت همواره جزئی از طبیعت سلول‌ها و بافت‌ها بوده است. بدیهی است که یکی از ذرات متحرک سلول، انواع یون‌ها یا ماکرومولکول‌های بارداری است که با جریانات سیتوپلاسمی مرتباً در سلول درحال حرکتند و پر واضح است که حرکت بارهای الکتریکی می‌تواند موجب تولید میدان‌های مغناطیسی شود. بر اساس مطالعات بسیاری از محققان، این ارتباط جایگزین می‌تواند در توضیح بسیاری از پدیده‌های سلولی مانند رفتار همزمان و هماهنگ واحدهای مستقل بیولوژیکی راه گشا باشد (۱، ۲). در این مقاله به بررسی انواع تعامل‌های الکترومغناطیس سلول‌ها با یکدیگر و با محیط اطراف آن می‌پردازیم. در سال ۱۹۳۵، بور گزارشی مبنی بر وجود یک گرادیان ولتاژ پایدار در سیستم‌های مختلف سلولی را مطرح کرد (۳). بر اساس این گزارش و مطالعاتی که پس از آن صورت گرفت این حقیقت آشکار شد که این گرادیان ولتاژی در فرایندهای مختلف بافتی مانند رشد، آسیب‌های موضعی و یا سایر تغییرات جدی و شدید تغییر می‌کند. این یافته که به نام

*(نویسنده مسئول) نجمه هادی‌زاده شیرازی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم و کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران
آدرس الکترونیکی: nhadizade@riau.ac.ir

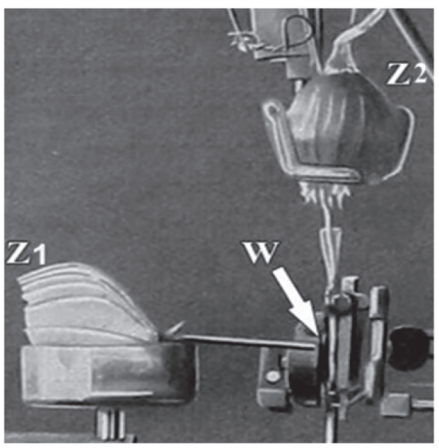
«تئوری الکترودینامیکی زندگی» شناخته شد، بر این اصل تاکید داشت که الگو یا سازماندهی هر سیستم بیولوژیکی توسط یک میدان پیچیده الکترودینامیکی ایجاد می‌شود، که تا حدودی توسط اجزای فیزیکوشیمیایی آن سیستم تعیین شده و همچنین تعیین‌کننده رفتار و جهت‌گیری آن است و بنابراین می‌تواند طی چند روز یا چند ساعت تغییر کند.

فرکانس‌های الکترومغناطیس موجود در بدن، دامنه بسیار ضعیفی دارند و اغلب به نام فرکانس‌های فوق ضعیف یا ELF (Extremely Low Frequency) شناخته می‌شوند. پتانسیل عمل موجود در اعصاب، بافت قلب، ارتعاشات ماهیچه اسکلتی و یا سایر اندام‌ها از انواع ELF هستند. بر اساس نظریه میدان‌های الکترومغناطیسی ماکسول، چنین میدان‌های الکتریکی که میدان‌های شبه استاتیکی نیز نامیده می‌شوند، در پدیده‌هایی مانند توزیع یون‌ها در سیتوپلاسم و اطراف سلول نقش دارند. با این وجود ارتباطات دور برد بین سلولی را نمی‌توان به ELF نسبت داد (۴، ۵).

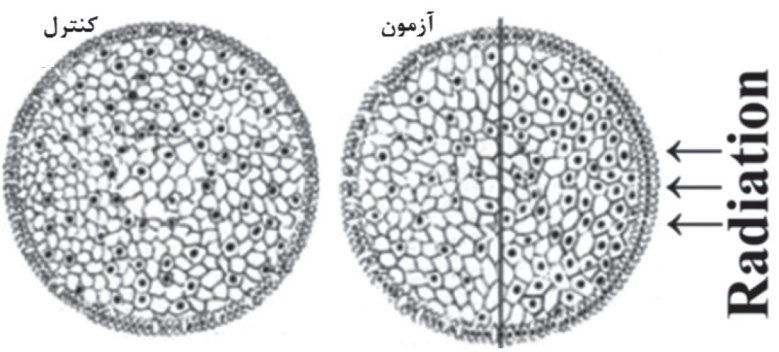
الکساندر گورویتس در اوایل دهه ۱۹۲۰ میلادی، به تلاش برای پاسخگویی به این سوال پرداخت که « دلیل و آغاز تقسیم سلولی چیست؟». بر اساس مطالعات گسترده، وی به این نتیجه رسید که فرایند آغاز تقسیم سلولی نیازمند دو عامل مهم است؛ اول: آمادگی درونی سلول و دوم وجود یک سیگنال خارجی که از خارج سلول به آن ارسال شده و دستور آغاز میتوز را صادر کند. وی پیشنهاد کرد که این سیگنال ماهیت شیمیایی نداشته (نوعی پرتو است) و مجموعه‌ای از تحریکات (Excitation) را در گیرنده‌های سطحی سلول القا می‌کند (۶، ۷).

مواد و روش‌ها

برای آزمایش فرضیه «تکانه خارجی غیر شیمیایی»، گورویتس «آزمایش ریشه پیاز» معروف خود را انجام داد. او دو ریشه پیاز را که از نظر نرمی و یکنواختی مشابه بودند، از وسط به صورت عمود روی یکدیگر قرار داد به طوری که نوک ریشه شماره Z۱ (به عنوان نشر دهنده ایمپالس) به سمت منطقه تقسیم ریشه شماره Z۲ (گیرنده ایمپالس) قرار داشته باشد (تصویر ۱ الف). محققان برش‌های بافتی از ریشه گیرنده تهیه کردند و تعداد سلول‌های در حال میتوز را در دو بافت کنترل (در شرایط معمول) و ریشه شماره Z۲ بررسی و شمارش کردند. بافت ریشه شماره Z۲ به صورت قابل توجهی تعداد سلول‌های در حال میتوز بیشتری نسبت به گروه کنترل داشت. این اثر « اثر میتوژنتیک» نامیده شد (تصویر ۱ ب) (۶). این آزمایش به زودی معروف شده و به شکل‌های مختلفی روی مریستم گیاهان و یا مخمرها و باکتری‌ها انجام شد. نتایج تمامی این تحقیقات وجود اثر میتوژنیک را تایید می‌کرد و به دنبال آن این پدیده به دنیای تشخیص و درمان و آسیب شناسی سلول‌ها وارد شد. در سال‌های بعد، محققان دیگر از تکنیک مشابهی استفاده کردند که قادر به تشخیص انتشار تک فوتون بود و نشان داد که نشر فوتون در بسیاری از بسترهای بیولوژیکی وجود دارد. بیشتر



الف



ب

تصویر ۱- آزمایش ریشه پیاز گروویتس. الف) شکل قرارگیری پیازها نسبت به هم. Z۱: پیاز القاء کننده، Z۲: پیاز گیرنده، W: محل القاء میتوز. ب) مقایسه میزان وقوع میتوز در دو گروه کنترا و آزمون.

این آزمایش‌ها توسط گروه‌هایی در انستیتوی بین المللی بیوفیزیک انجام شده است، که توسط پوپ که اصطلاح بیوفوتون را معرفی کرده بود، تاسیس شد.

تشخیص تجربی EMF با منشا بیولوژیکی

تنها چند گزارش در رابطه با اندازه‌گیری مستقیم نشر نور مادون قرمز در موجودات زنده وجود دارد که مستقل از تابش ناشی از گرمادهی است. یکی از این گزارش‌ها از فریزر و فری بود که فعالیت مادون قرمز را از عصب خرچنگ تحریک شده با جریان الکتریکی اندازه‌گیری کردند (۸). هم چنین امواج غیر حرارتی با طول موج چند میلی متر از اعصاب عضله قورباغه‌ای که با جریان الکتریکی تحریک شده بود منتشر می‌شود (۹). گرون و همکارانش در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که پس از برخورد لیزر آرگون با کریستال میوگلوبین پرتو مادون قرمز غیر حرارتی با عدد موج $1000–1500\ cm^{-1}$ را از خود نشر می‌دهند (۱۰). شدت فوتون‌هایی که اغلب از سلول‌ها نشر می‌شود بسیار ضعیف و در حد یک تا هزاران فوتون در ثانیه بر سانتی متر مربع است به همین دلیل به آن‌ها بیولومینسانس، بیوفوتون و یا (UPE: Ultra weak Photon Emission) می‌گویند. هنگامی که سلول‌ها دچار تغییرات فیزیولوژیکی می‌شوند، شدت UPE افزایش پیدا می‌کند. این امر به ویژه هنگامی که در معرض عوامل تنش زا شیمیایی یا فیزیکی قرار دارند مشخص‌تر است (۱۱).در شرایط بحرانی UPE به سرعت و به شدت افزایش یافته و یا هنگامی که سلول‌ها به صورت برگشت ناپذیر آسیب دیده باشند، می‌توان «فلاش مرگ» را مشاهده کرد (۱۲).

رابطه غیر خطی بین دمای جسم و شدت UPE حاکی از آن است که UPE در سلول‌های زنده به طور مستقیم از واکنش‌های شیمیایی ساده ناشی نمی‌شود. به عنوان مثال UPE اندازه‌گیری شده از نمونه‌های خون تازه، ارتباطی خطی با دما در محدوده ۳۸–۳۵ درجه سانتیگراد دارد. اما هنگامی که دما از ۳۲ درجه کمتر و یا از ۴۳ درجه بیشتر شود، شدت UPE از این همبستگی خطی منحرف شده و بدون در نظر گرفتن جهت تغییر دما کاهش می‌یابد (۱۳). همین پدیده در نخود سبز (Pisum Sativum) و جو (Horderum Vulgare) نیز مشاهده شد (۱۴). شواهد دیگر از بررسی سلول‌های در حال تقسیم گواه آن است که الگوهای UPE مراحل تقسیم سلولی منحصر به فرد هستند. به عنوان مثال در اواخر فاز S و هم زمان با افزایش سنتز DNA و فاز G۲، UPE شدیدی در سلول‌های مخمر دیده می‌شود (۱۵).

حالت دیگر رفتار نوری فعال سلول‌های زنده «تاخیر در لومینسانس» است. این اصطلاح بیانگر انتشار فوتون‌ها از یک سیستم زیستی پس از یک تحریک نوری خارجی است. این پدیده شبیه به فرایند فلورسانس خود به خودی است اما با بازه زمانی طولانی‌تری برای نشر نور. در این تکنیک، بافت‌ها یا کشت سلولی با استفاده از یک منبع نوری با یک ترکیب و شدت طیفی مشخص تحریک می‌شوند. مرحله تحریک توسط فاز لومینسانس زودرس و به دنبال آن تاخیر در لومینس انجام می‌شود. بسته به نوع جاندار، زمان تاخیر می‌تواند تا روزها ادامه داشته باشد. اگرچه به نظر می‌رسد القای لومینسانس یک پدیده مصنوعی است که فقط متعلق به شرایط آزمایشی است، اما اکثر سیستم‌های زنده تحت شرایطی از نور مستقیم خورشید کار می‌کنند به بیان ساده‌تر توسط طیف وسیعی از EMF طبیعی تحریک می‌شوند، که از نظر فنی می‌تواند یک وضعیت طبیعی شبیه به تحریک ایجاد کند. بنابراین، تعجب آور نخواهد بود اگر این شکل از انتشار EMF در روند ارتباطات سلولی نیز دخیل باشد. گفتنی است، در حال حاضر اندازه‌گیری مستقیم EMF سلولی تنها در مجاورت مرزهای سلولی قابل اندازه‌گیری است. برای اندازه‌گیری EMF از روش‌های متعددی استفاده می‌شود که دی الکتروفورز یکی از آن‌ها است. در این روش به کمک یک میدان الکتریکی خارجی در سلول‌ها ممان دو قطبی ایجاد شده و تغییرات این ممان الکتریکی در برخورد با اجزاء سلول در طول زمان بررسی می‌شود. امروزه با گسترش تکنولوژی نانو، محققان در تلاشند تا با کمک نانوسنسورها این فعالیت‌های الکترومغناطیسی سلول‌ها را اندازه‌گیری کنند (۱۶). استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی ترا هرتز (THz) در اندازه‌گیری EMF یکی از روش‌های جدیدی است که برای این منظور به کار می‌رود. به طورکلی ارتعاشات الکتریکی ذرات قطبی سلول می‌تواند فرکانس‌های EMF رادر محدوده تراهرتز تولید کنند. از این رو دستگاه‌های اسپکتروسکوپی معمولی قادر به شناسایی آن‌ها نیست و شناسایی آن‌ها به کمک اسپکتروسکوپی تراهرتز انجام می‌شود (۱۸و۱۷). در طیف سنجی رامان یا بریلوئین، می‌توان از نسبت «R» (نسبت شدت ضد استوکس و شدت خط استوکس) برای این منظور استفاده کرد. اگر تحریکات بالاتر از سطح انرژی گرمایی

باشد، امواج EMF تولید شده قوی‌تر از نویزهای حرارتی خواهند بود که با کمک اسپکتروسکوپی رامان قابل اندازه‌گیری است. برای این منظور مدل‌هایی برای تفسیر طیف رامان حاصل از سلول‌های فعال زیستی بر اساس حذف تداخل بین ارتعاشات حرارتی محیط و فوتون‌های ساطع شده از سلول ارائه شده است (۱۹).

یافته‌ها

میانکنش الکترو مغناطیسی سلول‌ها

یافته‌های تحقیقاتی گویای آن است که سلول‌ها می‌توانند با سلول‌های دیگری که از نظر فیزیکی توسط یک «سد» از هم جدا شده‌اند ارتباط برقرار کنند (۲۰، ۲۳). این سد به طور معمول از هرگونه ارتباط شیمیایی یا الکتریکی بین سلول‌های جدا از هم جلوگیری می‌کند و به این ترتیب مانع از تداخل ارتباطات شیمیایی بین سلول‌ها می‌شود (۲۴). این آزمایشات ممکن است در طراحی متفاوت باشد، اما به طور کلی سلول‌های آزمایشی که به طور مستقیم در معرض مداخله قرار می‌گیرند «القا کننده‌ها» نامیده می‌شوند. در مقابل سلول‌های «القا کننده»، گروه دیگری از سلول‌ها وجود دارند که «آشکارساز» نامیده می‌شوند. سلول‌های آشکارساز در واقع یک گروه کنترل منفی هستند؛ زیرا در معرض مداخله قرار نمی‌گیرند. با این حال، این سلول‌ها در مجاورت سلول‌های القاء کننده نگه داشته می‌شوند در حالی که به صورت مکانیکی از سلول‌های القا کننده توسط یک سد فیزیکی جدا می‌شوند. مجموعه دیگری از سلول‌های کنترل منفی به نام کنترل غیر آشکارساز در این مطالعات وجود دارد. این گروه مشابه گروه «آشکارساز» است با این تفاوت که در معرض مداخله قرار نمی‌گیرد. در این آزمایشات مشخص شده است که تغییرات ناشی از مداخله فقط در سلول‌های القایی مشاهده نمی‌شوند. تغییرات موازی می‌تواند در سلول‌های آشکارساز نیز مشاهده شود. با این حال، هیچ تاثیری در سلول‌های کنترل غیر آشکارساز مشاهده نمی‌شود. این واقعیت که اثرات آن در سلول‌های آشکارساز مشاهده می‌شود اما در سلول‌های کنترل غیر آشکارساز وجود ندارد، حاکی از وجود ارتباطات الکترومغناطیس بین سلولی است. طی سلسله آزمایش‌های مفصلی که کازناچف انجام داد، مشاهده کردکه اثرات سیتوپاتی سلولی در پلیت کشت سلولی را می‌توان در یک پلیت کشت سلولی مجزا که در معرض محرک سیتوپاتی قرار نداشته است القا کرد وی این پدیده را «اثر سیتوپاتی آینه ای» نامید (۲۵، ۲۶). در این آزمایشات، کازناچف از انواع مختلفی از سلول‌های انسانی یا حیوانی به عنوان القا کننده و آشکار کننده و ویروس Coxasackie A-۱۳ یا کلرید جیوه به عنوان عوامل سیتوپاتی (محرک) استفاده کرد. وی از شیشه‌های معمولی و هم چنین شیشه کوارتز برای پارتیشن بندی فیزیکی سلول‌های القا کننده و آشکار کننده در مجموعه آزمایش‌های موازی استفاده کرد. او هم چنین مشاهده کرد که اثرات بیوشیمیایی موجود در سلول‌های آشکار کننده فقط در آن دسته از سلول‌هایی مشاهده می‌شود که از سلول‌های القاکننده توسط شیشه کوارتز جدا شده‌اند و نه با شیشه معمولی. بنابراین، وی اظهار داشت که اثر سیتوپاتی آینه به احتمال زیاد به دلیل اشعه ماوراء بنفش یا مادون قرمز است. چنین رفتارهایی در مطالعات سایر محققان روی تغییر در ناهنجاری‌های کروموزومی مشاهده شد.

مکانیسم مسئول ارتباطات الکترومغناطیس بین سلولی محدود به فعل و انفعالات در سطح سلولی نیست. یک پدیده مشابه در سطح کل گیاهان، بیوسیستم‌های بدوی (مانند حشرات) و سایر سیستم‌های زیست بوم گزارش شده است (۲۷، ۲۸). باکتری‌ها هم چنین می‌توانند از سیگنال دهی از راه دور برای جوانه زنی اسپور و سایر عملکردهای فیزیولوژیکی استفاده کنند. نیکولاف در آزمایش خود گزارش داد که از طریق برهم کنش‌های دوربرد، باکتری‌های سودوموناس می‌توانند ظرفیت چسبندگی خود را به میزان قابل توجهی کاهش دهند (۲۹). وی هم چنین تأثیر مثبت فاصله از باکتری از سودوموناس پوتیدا (Pseudomonas Putida) را در رشد باسیلوس سابتیلیس یافت (۳۰). تروشین و لاگر در دو کار آزمایشی مستقل، ارتباطی بین UPE و پارامترهای رشد را در اشریشیا کولی مشاهده کردند (۳۱، ۳۲).

هم چنین به نظر می‌رسد که بذرهای گیاهی از UPE در تعامل خود استفاده می‌کنند. بلوسوف و همکارانش دریافتند که تاباندن اشعه گاما با دوز کم به دانه Raphanus Savitus (القا کننده) می‌تواند تغییرات مشابه‌ای در دانه‌های گروه آشکار کننده که در معرض اشعه گاما قرار نمی‌گیرند و با استفاده از سد کوارتز از دانه‌های القاگر جدا می‌شوند، ایجاد کند. این نتیجه با تکرار آزمایش به وسیله یک سد شیشه‌ای، که مانع عبور UPE ماوراء بنفش می‌شود،

از بین می‌رفت (۳۳).

میانکنش‌های الکترومغناطیس هم چنین در سلول‌های انسانی نیز گزارش شده است. وویکوف و نوویکوف تعامل نوری نوتروفیل‌ها از طریق UPE را در حین انفجار تنفسی (RespiratoryBurst) خود گزارش دادند. بلوسوف و همکاران (۲۰۰۰) دریافت که PMA (فوربول میریستات استات) ناشی از انفجارهای تنفسی در نوتروفیل‌های القایی می‌تواند به واکنش مشابه در نوتروفیل‌های آشکارساز منجر شود (۳۳). رولاند مشاهده کرد که تشکیل اجتماعات گلبول قرمز در نتیجه انعقاد خون از قوانین ساده و تصادفی حرکتی براونی تبعیت نمی‌کند و تولید EMFهای سلولی به عنوان یک توضیح قابل قبول برای این ارتباطات پیچیده سلولی است (۳۴).

دانشمندان دیگر نیز تعامل بین سلول‌های پستانداران از طریق اتصال EMF را نشان دادند. ژانگ (۲۰۰۷) دریافت که استئوبلاست‌ها پس از تحریک به وسیله میدان‌های الکترومغناطیسی ضعیف، پالس UPE را ساطع می‌کنند. جالب‌تر اینکه UPE منتشر شده باعث افزایش تکثیر سایر استئوبلاست‌ها می‌شود (۳۵). هم چنین نشان داده شده است که سلول‌های سرطانی روده بزرگ که با پراکسید هیدروژن تیمار شد اند، فعالیت NFKB و در نتیجه واکنش‌های تخریب سلولی را در سلول‌های سرطانی گروه آشکار کننده افزایش می‌دهد (۳۶).

این روش ارتباطی هم چنین می‌تواند در سطح داخل سلولی، بین اندامکی یا درون اندامکی وجود داشته باشد (۳۷). حتی اگر به نظر برسد EMF بهترین نامزد منبع ارتباطات الکترومغناطیس بین سلولی است، ماهیت سیگنال دهی هنوز کاملا شناخته نشده است و نیاز به اکتشافات بیشتر دارد. تولید کننده یا گیرنده EMF می‌تواند یک واکنش بیوشیمیایی سلولی، ساختار ماکرومولکولی یا یک اندامک زیر سلولی باشد. هیچ اطلاعات علمی جامعی برای نشان دادن استفاده از محدوده یا انواع EMF وجود ندارد. آلبرشتت بوئلر اظهار داشت که سانتروزوم‌ها ردیاب‌های مادون قرمز هستند و میکروتوبول‌ها کابل‌هایی هستند که سیگنال‌های بین ارگان‌های درون سلولی را منتقل می‌کنند. وی مشاهده کرد که سلول‌های کشت شده به سمت نور مادون قرمز حرکت می‌کنند (۳۸). در واقع، دوزهای EMF که از نظر جسمی به سلول‌ها آسیب نمی‌رسانند، می‌توانند بر عملکردهای مختلف سلول از جمله تکثیر سلولی و یا تمایز، آپوپتوز، سنتز DNA، رونویسی RNA، بیان پروتئین و بسیاری از کارکردهای سلولی دیگر اثر بگذارد (۳۹، ۴۱).

بحث و نتیجه‌گیری

درک بهتر ارتباطات الکترومغناطیس بین سلولی می‌تواند به محققان در تشخیص بسیاری از پدیده‌های ناشناخته سلولی مانند چگونگی القاء سرطانی شدن سلول‌ها و یا تاثیر بسیاری از روش‌های روانشناختی در درمان و بهبود بسیاری از عوارض کمک کرده و مشخص کند که آیا می‌توان با کنترل تولید این ارتعاشات سلولی، رفتارهای سلولی و به دنبال آن بافتی را کنترل کرد؟ چنین دانشی نیاز به دستکاری ژنتیکی سلول‌ها نداشته و قادر است با کمک کدهای اطلاعاتی موجود در سلول رفتار آن‌ها را اصلاح کند. از آنجایی که شدت این امواج الکترومغناطیس بسیار اندک و گاهی در حد چند فوتون است، ابزارها و تکنیک‌های موثقی برای سنجش دقیق این امواج وجود ندارد با این حال با کمک برخی روش‌ها به صورت غیر مستقیم می‌توان آن‌ها را اندازه‌گیری کرد. علی رغم اینکه حدودا صد سال از اولین مطالعات در این زمینه می‌گذرد اما هنوز این علم کامل و کاربردی نشده و بسیاری محققان بر این باورند که در آینده‌ای نزدیک بسیاری از ابهامات این علم برطرف شده و بتواند در بسیاری از زمینه‌های زیستی کارگشا باشد.

تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن برای حمایت مالی در اجرای این تحقق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

References

1- Cifra M, Fields JZ, and Farhadi A. Electromagnetic cellular interactions. Prog. Biophys Mol. Biol. 2011; 105, 223–246.
2- Fels D. Cellular communication through light. PLoS ONE. 2009; 4: 50-86.
3- Burr HS, Northrop FS. Evidence for the existence of an electro-dynamic field in living organisms. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1939 Jun; 25(6):284.
4- Levin M. Bio electromagnetics in morphogenesis. Bioelectromag, 2003; 24 (5): 295-315.
5- McCaig CD, Rajnicek AM, Song B, Zhao M. Controlling cell behavior electrically: current views and future potential. Physiological reviews. 2005 Jul 1; 85 (3): 943-978.
6- Gurwitsch A. Die natur des spezifischen erregers der zellteilung. Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik. 1923 Mar 1; 100(1-2):11-40.
7- Van Wijk R, Van Wijk EPA. An introduction to human biophoton emission. Forsch Komp Klass Naturheilkd. 2005; 12: 77-83.
8- Fraser A, Frey AH. Electromagnetic emission at micron wavelength from active nerves. Biophy J ,1968; 73:1-734.
9- Gebbie HA, Miller PF. Nonthermal microwave emission from frog muscles. International journal of infrared and millimeter waves. 1997 May 1; 18(5):951-7.
10- Groot ML, Vos MH, Schlichting I, van Mourik F, Joffre M, Lambry JC, Martin JL. Coherent infrared emission from myoglobin crystals: An electric field measurement. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002 Feb 5; 99(3):1323-8.
11- Slawinski J. Biophotons from stressed and dying organisms: toxicological aspects. Indian J Exp Biol 2003; 41:483-493.
12- Slawinski J. Photon emission from perturbed and dying organisms: biomedical perspectives. Forsch Komp Klass Naturheilkd 2005; 12 (2): 90-95.
13- Voeikov VL, Asfaramov R, Bouravleva E, Novikov C, Vilenskaya N. Biophoton research in blood reveals its holistic properties. Indian J Exp Biol 2003; 43: 473-482.
14- Slawinski J, Popp F. Temperature hysteresis of low level luminescence from plants and its thermodynamical analysis. J Plant Physiol 1987; 130 (2-3):111-123.
15- Popp FA, Chang JJ, Herzog A, Yan Z, Yan Y. Evidence of non-classical (squeezed) light in biological systems. Physics Letters A 2002; 293: 98-102.
16- Kucera O, Cifra M, Pokorný J. Technical aspects of measurement of cellular electromagnetic activity. European biophysics journal: EBJ. 2010 Sep 1; 39(10):14-65.
17- Piga R, Micheletto R, Kawakami Y. Acoustical nanometre-scale vibrations of live cells detected by a near-field optical setup. Optics express. 2007 Apr 30;15(9):5589-94.
18- Koniar D, Hargas L, Hrianka M, Bánovcin P. New aspects in respiratory epithelium diagnostics using virtual instrumentation. Sensors & Transducers. 2009; 100(1):58-64.
19- Kneipp K, Wang Y, Kneipp H, Perelman LT, Itzkan I, Dasari RR, Feld MS. Single molecule detection using surface-enhanced Raman scattering (SERS). Physical review letters. 1997 Mar 3; 78(9):16-67.
20- Farhadi A, Forsyth C, Banan A, Shaikh M, Engen P, Fields JZ, Keshavarzian A. Evidence for non-chemical, non-electrical intercellular signaling in intestinal epithelial cells. Bioelectrochemistry. 2007 Nov 1; 71(2):142-8.
21- Ross SM. Combined DC and ELF magnetic fields can alter cell proliferation. Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, the Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association. 1990; 11(1):27-36.
22- Cifra, M., and Pospíšil, P. Ultra-weak photon emission from biological samples: definition, mechanisms, properties, detection and applications. J. Photochem. Photobiol. B. 2014; 139:2–10.
23- Chaban VV, Cho T, Reid CB, Norris KC. Physically disconnected non-diffusible cell-to-cell communication between neuroblastoma SH-SY5Y and DRG primary sensory neurons. American journal of translational research. 2013; 5(1):69–79.
24- Rossi C, Foletti A, Magnani A, and Lamponi S. New perspectives in cell communication: bioelectromagnetic interactions. Semin. Cancer Biol. 2011; 21: 207–214.
25- Trushin M. Light-mediated “conversation” among microorganisms. Microbiol Res 2004; 159 (1): 1-10.
26- Kaznacheev VP, Mikhailova LP. Bioinformational Function of Natural Electromagnetic Fields. (Bioinformatsionnaya funktsiya yestestvennikh elektromagnitnikh poley). Russian, Nauka Novosibirsk, 1985.
27- Burlakov AB, Burlakova OV, and Golichenkov VA. Distant wave-mediated interactions in early embryonic development of the loach Misgurnus fossilis L. Russ. J. Dev. Biol. 2000; 31:287–292.
28- Kučera O, and Cifra M. Cell-to-cell signaling through light: just a ghost of chance? Cell Commun. Signal. 2013; 11: 87.
29- Nikolaev Y. Role of distant interactions in the regulation of the adhesion of Pseudomonas fluorescens cells. Microbiol 2000; 69 (3):291-295.
30- Beloussov LV, Voeikov VL, Martynyuk VS, editors. Biophotonics and coherent systems in biology. Springer Science & Business Media; 2007 Jan 3.
31- Trushin M. Culture-to-culture physical interactions causes the alteration in red and infrared light stimulation of Escherichia coli growth rate. J Microbiol Immun Infec2003; 36 (2): 149-152.

32- Laager F. Sources and functions of ultra-weak photon emission. The School of Physics. Seoul National University. 2008.
33- Beloussov LV, Voeikov VL, Martynyuk VS, editors. Biophotonics and coherent systems in biology. Springer Science & Business Media; 2000 Jan 3.
34- Rowlands S. Coherent Excitation in Blood. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 1983;10: 145-161.
35- Zhang J, Zhang X. Communication between osteoblasts stimulated by electromagnetic fields. Chin Sci Bull 2007; 52 (1):98-100.
36- Farhadi A, Forsyth C, Banan A, Shaikh M, Engen P, Fields JZ, Keshavarzian A. Evidence for non-chemical, non-electrical intercellular signaling in intestinal epithelial cells. Bioelectrochemistry 2007; 51:142-148.
37- Havelka D, Cifra M, Kučera O, Pokorný J, and Vrba J. High-frequency electric field and radiation characteristics of cellular microtubule network. J. Theor. Biol. 2011; 286: 31–40.
38- Albrecht-Buehler G. Cell intelligence.2010 March [cited 2010 march]; 1(1) [24http://www.basic.northwestern. edu/g-buehler/cellint0.htm]
39- Foletti A, Lisi A, Ledda M, de Carlo F, Grimaldi S. Cellular ELF signals as a possible tool in informative medicine. Elect Biol Med 2009; 28 (1): 71-79.
40- Santini MT, Ferrante A, Rainaldi G, Indovina P, Indovina PL. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review. Inte J Rad Biol 2005; 81 (1):1-11.
41- Litovitz T, Krause D, Montrose C, Mullins J. Temporally incoherent magnetic fields mitigate the response of biological systems to temporally coherent magnetic fields. Bioelectromagnetics 1994; 15 (5): 399-410.