نقش میدان‌های الکترومغناطیس درون‌زاد و برون‌زاد در پیشبرد تکوین جنین

سمیرا کاتبی کوشالی [۱]

[۱] دکتری زیست‌شناسی گرایش سلولی تکوین، دانشگاه اصفهان
sahab135@gmail.com

چکیده

درک عوامل موثر در تکوین سلول تخم از دیرباز ذهن محققان را به خود مشغول داشته است . آنچه طی سالیان دراز از فرایندهای دخیل در قطبیت، ریخت‌زایی و اندام‌زایی جنین به‌دست آمده، ناشی از تلاش بی‌وقفه‌ی محققان در عرصه زیست‌شناسی مولکولی، بیوشیمی و ژنتیک بوده است. در این میان میدان‌های الکترومغناطیس و تابش‌ها به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم بیوفیزیک در رابطه با جنین‌شناسی نادیده گرفته شده است. به‌موازات پیشرفت علوم سلولی مولکولی و الکتروفیزیولوژی، دریچه‌ای تازه به‌روی محققان زیست‌شناسی تکوینی گشوده شد که به نقش بسیار مهم میدان‌های الکترومغناطیس در پیشبرد صحیح فرایندهای تکوین در موجودات زنده اشاره داشت. آزمایش‌های انجام شده طی نیم قرن بیانگر این است که جنین قادر به تولید میدان‌های الکترومغناطیس و تابش‌هایی بسیار ضعیف است که در ایجاد قطبیت، مهاجرت سلول‌ها و ریخت‌زایی فوق العاده حائز اهمیت‌اند. در مقاله حاضر به اهمیت میدان‌های الکترومغناطیس طبیعی و مصنوعی در پیشبرد فرایندهای تکوین جنین پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: میدان‌های الکترومغناطیسی، جنین، تکوین، ریخت‌زایی.

۱ مقدمه

یکی از جذاب‌ترین مباحث زیست‌شناسی تکوینی، ریخت‌زایی است. ریخت‌زایی پدیده‌ای است که به خودسازمان‌یافتگی سیستم‌های زنده اشاره دارد. در این فرایند از سلول‌های ابتدایی جنین، ساختارهایی پیچیده و عملکردی ایجاد می‌شود. ژنتیک مولکولی و بیوشیمی در جهت درک مکانیسم‌های دخیل در ریخت‌زایی و کشف مولکول‌ها و پیام‌رسان‌های سلولی نقش به‌سزایی داشته‌اند. در این میان میدان‌های الکترو مغناطیسی و تابش‌ها به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم بیوفیزیک در جنین‌شناسی مدرن نادیده گرفته شده است. بسیاری از فرایندهای تکوینی همانند قطبیت، اطلاعات وابسته به مکان، اندام‌زایی و ارتباطات سلولی رابطه‌ی تنگاتنگی با فیزیک الکترو مغناطیس دارند (Levin, 2003). شواهد حاکی از آن است که

میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و تابش‌های فوتونی بسیار ضعیف درون‌زاد سلول‌ها، در واقع همانند نوعی سیستم اطلاعاتی عمل می‌کنند (Basset, 1993). در این بازنگری سعی بر آن است تا به نقش غیرقابل انکار میدان‌های الکترو مغناطیس طبیعی، میدان مغناطیسی درون‌زاد سلول‌ها و میدان مغناطیسی کره‌ی زمین در فرایندهای دخیل در تکوین جنین بپردازیم.

۲ پیشینه‌ی پژوهش

در مطالعات بی‌شماری به اثرات میدان های الکترومغناطیسی در ایجاد و تکامل حیات اشاره شده است. می‌توان این مطالعات را در دو شاخه‌ی بایومگنتیزم[۱] و مگنتوبیولوژی[۲] تقسیم‌بندی کرد. در حوزه‌ی بایومگنتیزم به میدان‌های الکترومغناطیسی تولید شده توسط سلول و بافت‌های بدن موجود زنده، پرداخته می‌شود؛ در حالی که در حوزه‌ی مگنتوبیولوژی اثر میادین الکترومغناطیسی خارجی بر سیستم‌های زنده مورد بررسی قرار می‌گیرد (Marko and Markov, 2011). دانشمندان در این دو حوزه، از شواهد همبستگی[۳]، به‌دست آوردن عملکرد[۴] و فقدان عملکرد[۵]، به منظور کشف اهمیت میادین الکترو مغناطیسی بر فرایندهای زیستی بهره می‌برند (Levin, 2001).

بزرگی و مقیاس‌سنجی میدان الکترو مغناطیسی با واحد تسلا بیان می‌شود. از آنجا که واحد مذکور بسیار بزرگ است، از سایر واحدهای کوچکتر همانند گاوس، میلی تسلا و میکرو تسلا استفاده می‌شود. هر تسلا معادل ۱۰.۰۰۰ گاوس است. میدان مغناطیسی کره‌ی زمین ناشی از هسته‌ی آهنی آن است و در محدوده‌ی ۵۰ میکرو تسلا شدت دارد. این میزان ناچیز در حفظ هومئوستاز بدن جانوران بسیار ضروری است (Funk, 2009).

گلد در سال ۱۹۸۴ در گزارش خود بیان داشت که موجودات زنده –از باکتری تا پستانداران– همگی به میدان–های مغناطیسی حساس‌اند (Gould, 1984). میدان مغناطیسی (GMF) و میدان الکتریکی کره‌ی زمین (GEF) بخش اعظم اطلاعات موجود در یونوسفر را شامل می‌شوند (Cole, 1974). با توجه به جدول ۱ می‌توان دریافت که حذف میدان مغناطیسی زمین باعث ایجاد طیف وسیعی از ناهنجاری‌ها و تغییرات فیزیولوژیک در موجودات زنده می‌شود (Levin, 2003). این ایده که ریخت‌زایی موجودات با واسطه‌ی میدان‌های الکترومغناطیسی درون‌زاد آنها تعیین می‌شود برای نخستین بار توسط بور Burr et, 1937) al) و لاند (Lund, 1947) مطرح شد. هر دو گروه، آزمایش‌های وسیعی را بر طیف وسیعی از موجودات انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات میدان‌های الکتریکی طبیعی با فرایندهای تکوین و ترمیم موجودات زنده رابطه‌ی تنگاتنگی دارد. در واقع آنها برای اولین بار این مطلب را اثبات کردند که میدان‌های الکترومغناطیسی خارجی می‌توانند ریخت‌زایی و عملکرد طیف وسیعی از موجودات را تغییر دهد.

[1] Bio magnetism
[2] Magneto biology
[3] Correlative evidence
[4] Gain of function
[5] Loss of function

میدان‌های الکتریکی بر یون‌های موجود در سلول نیرو وارد می‌کنند در حالی که میادین مغناطیسی بر ذرات مغناطیسی درون سلول و یون‌های در حال حرکت نیرو وارد می‌کنند. در کل باید گفت میدان‌های الکترو مغناطیسی قادر هستند واکنش‌های بیوشیمیایی و رفتار مولکول‌های باردار سلول را تغییر دهند (Barnes, 1992)، میدان‌های مغناطیسی اثر خود بر سلول را از چند مسیر اعمال می‌کنند؛ تولید میدان‌های الکتریکی در هادی، وارد کردن نیرو بر حامل‌های باردار در حال حرکت، وارد کردن فشار بر دو قطبی‌های مغناطیسی دائم و ذرات دیامغناطیس یا پارامغناطیس غیر کروی (درصورت اعمال میدان مغناطیسی ناهمگن) و تغییر نرخ انتشار غشای سلولی (Barnothy, 1999).

۳ ادبیات پژوهش

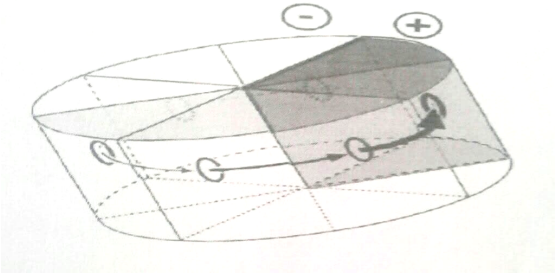
۱.۳ تابش‌های میتوژنیک درون‌زاد

سلول‌ها و بافت‌های زنده طیف وسیعی از فوتون‌های فوق ضعیف را در محدوده‌ی فرابنفش و فروسرخ تابش می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهند این امواج در فرایندهای تکوینی نقش بسیار مهمی دارند و قادر هستند بدون وجود ارتباطات شیمیایی از سلولی به سلول دیگر منتقل شوند و در جهت پیام‌رسانی اقدام کنند.

لوین اولین کسی بود که بر روی تابش‌های میتوژنیک سلول‌ها مطالعه کرد. او دریافت که این تابش‌ها با چرخه‌ی تقسیم سلول و متابولیسم آن در ارتباط است. در سال ۱۹۸۳ الگویی مبتنی بر برهم‌کنش بین بیوفوتون‌ها و DNA ارائه شد. در این مدل حلقه‌ی بازخورد منفی بین کانفورماسیون DNA و بیوفوتون‌های نشر شده از سلول در نظر گرفته می‌شود چیروت[۶] در سال ۱۹۸۶ بیان داشت که تابش‌های میتوژنیک به‌عنوان حامل‌های اطلاعاتی بین سلولی عمل می‌کنند. بیوفوتون‌ها بر بیومولکول‌هایی چون DNA اثر می‌گذارند و امواج فروسرخ نیز ناشی از فعالیت سانتریول‌ها هستند. با گسترش علوم سلولی – مولکولی و کشف اهمیت کانال‌های یونیِ سدیم، پتاسیم، کلسیم و گیرنده‌های وابسته به ولتاژ، نقش میدان‌های الکتریکی درون‌زاد در فرایندهای مهم زیست‌شناسی روز به روز پررنگ‌تر شد. میدان‌های الکترومغناطیسی درون‌زاد، در نتیجه‌ی حرکت بارهای الکتریکی یون‌ها و دوقطبی‌ها در عرض غشاء و یا بین سلول‌ها ایجاد می‌شوند (Funk, 2009, Marco, 2011).

مطالعات وسیع دو گروه مک‌کیاگ و لوین ثابت کرد میدان‌های الکترومغناطیسی به‌طور مستقیم با پدیده‌های مهم زیست‌شناسی در ارتباط هستند. لوین در گزارشی شرح داد که میدان‌های الکتریکی تولید شده توسط کانال‌های یونی هیدروژن پتاسیم و به خصوص کلسیم، سیگنال‌های خاصی را ایجاد می‌کنند که رفتار سلول را طی رشد جنینی، تغییرات طبیعی بافتی و فرایندهای ترمیمی تنظیم می‌کند. میدان‌های الکترومغناطیسی درون‌زاد، طی مراحل مختلف جنینی به‌طور طبیعی ظاهر می‌شوند. برای مثال طی رشد اولیه‌ی جنین دوزیست و جوجه میدان‌های الکتریکی درون‌زاد در نتیجه‌ی جذب غیر فعال سدیم از محیط تولید شده و منجر به ایجاد اختلاف پتانسیل مثبت بین سلول‌های اپی‌تلیوم (TEP) می‌گردد. اختلاف TEP

[۶] Chwirot



شکل ۱: شیب غلظت مولکول‌های کوچک در اثر میدان الکتریکی درون‌زاد

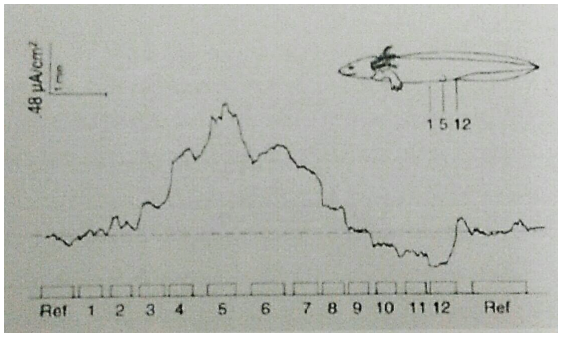
در نواحی مختلف، شیب ولتاژ داخل جنینی را ایجاد می‌کند. بزرگی این میادین الکتریکی درون‌زاد در حدود ۱ تا ۵ ولت بر سانتی‌متر گزارش شده است که این مقدار برای اثر گذاشتن بر مورفولوژی سلول و مهاجرت آن در شرایط آزمایشگاهی بسیار مناسب است.

باید توجه داشت میدان‌های الکتریکی تولید شده با پتانسیل عمل سلول‌های عصبی کاملاً متفاوت است زیرا پتانسیل عمل کاملاً در غشاء سلولی محصور شده است؛ در حالی که میدان‌های الکتریکی درون‌زاد، قادر هستند تا صدها میکرومتر حتی در فضای خارج سلولی به خوبی گسترش یابند. در واقع این میادین در مقایسه با پتانسیل‌های عمل کم‌دوام قادر هستند شیب‌هایی از ولتاژ را طی چند روز ایجاد کنند. لوین و آدامز در آزمایشی جالب به اهمیت این میادین در ایجاد عدم تقارن راست - چپ اشاره کردند. آنها بیان داشتند که میادین درون‌زاد ناشی از جریان نامتقارن یون‌های هیدروژن در نتیجه‌ی فعالیت پمپ سدیم پتاسیم به‌عنوان نیروی پیش‌رونده برای جابه‌جایی مولکول‌های کوچک در جنین ابتدایی ظاهر می‌شوند. همان‌طور که درشکل یک نشان داده شده است، در نتیجه‌ی وجود میدان الکتریکی درون‌زاد، شیبی از غلظت مواد در سلول‌های مجاور مشاهده می‌شود؛ بدین صورت که حداکثر غلظت در قطب مثبت و حداقل آن در قطب منفی ایجاد می‌شود.

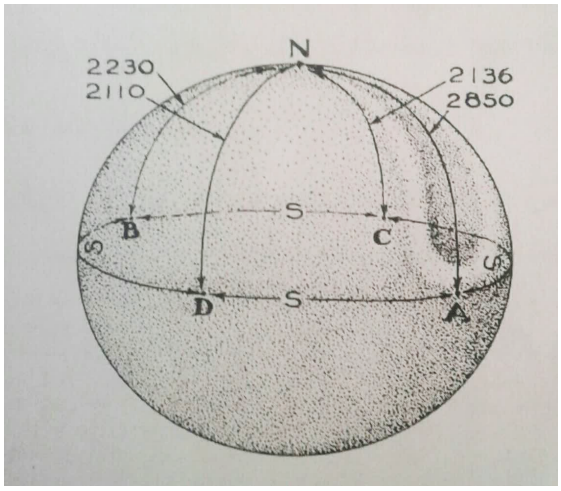
۲.۳ نقش میادین درون‌زاد در شکل‌گیری اندام

روبینسون و بورگن آزمایش‌های جالبی بر روی جنین دوزیستان انجام دادند تا به نقش میدان‌های الکتریکی درون‌زاد جنین در شکل‌گیری اندام پی ببرند. اندام‌زایی در جنین دوزیستان در منطقه‌ی جانبی جنین با سست شدن اپی‌تلیال آغاز می‌گردد و به دنبال آن مهاجرت سایر سلول‌ها به این ناحیه رخ می‌دهد. روبینسون و هوتاری برای آزمایش خود از لارو اکسولوت[۷] استفاده کردند. آنها دریافتند یک هفته پیش از تشکیل پای عقبی در قسمت جانبی جنین، جریان‌های رو به خارج در اپی‌تلیوم ظاهر می‌شود و به تدریج شدت آنها تا بروز جوانه‌ی اندام افزایش می‌یابد. حداکثر جریان در حدود ۲ تا ۳ میکرو آمپر در سانتی‌متر قبل از بروز جوانه‌ی اندام ظاهر شده است.

[7] axolot



شکل ۲: جریان‌های الکتریکی اندازه گیری شده در طرفین جنین اکسولوت طی تشکیل جوانه اندام حرکتی. در منطقه ۵ حداکثر جریان الکتریکی درون‌زاد ثبت شد.



شکل ۳: شیب ولتاژ بین قطب حیوانی و ۴ نقطه از ناحیه استوایی تخم قورباغه: بیشترین ولتاژ، محل آینده لوله عصبی را نشان می‌دهد.

بورگن و روبینسون بیان داشتند با اندازه‌گیری جریان‌های درون‌زاد در طرفین جنین می‌توان محل و زمان بروز جوانه‌ی حرکتی را پیش‌بینی کرد. با توجه به شکل ۲ در ناحیه ۵ طرفین جنین حداکثر جریان‌های الکتریکی اندازه‌گیری شد. این ناحیه دقیقاً محلی است که جوانه‌ی اندام ظهور خواهد کرد.

بورگن و روبینسون متوجه شدند که بعد از ظهور جوانه، اندام میدان‌های الکتریکی رو به کاهش می‌گذارند و حتی در مواردی معکوس می‌شوند. آنها در ادامه‌ی کار خود به تحلیل جالبی رسیدند، اینکه مهاجرت سایر سلول‌ها طی اندام‌زایی به منطقه‌ی جوانهی اندام به این دلیل است که جوانه‌ی اندام همانند کاتد عمل می‌کند که از نظر ولتاژ منفی‌تر است.

بور نیز توانست نشان دهد که میتوان با اندازه گیری ولتاژ در نقاط مختلف تخم قورباغه مکان تشکیل دستگاه عصبی را تعیین کرد (شکل ۳).

جدول ۱: تحقیقات انجام شده در بیومگنتیزم

آزمایش	جزئیات	منابع
میدان‌های الکترومغناطیسی درون‌زاد در موجودات در حال تکوین	– میدان‌های درون‌زاد سبب هدایت مواد به سمت تخمک می‌شود. – جنین جوجه و موش میدان‌هایی را در اطراف خود ایجاد می‌کنند. – لوله‌ی عصبی دوزیستان، میدان‌های بزرگی را ایجاد می‌کند.	Nuccitelli, R. (1983), Barish, M.E. (1983), Levin, M. (2003), D. Borgens, R. B. (1989), Burr, H.S. (1941a), Burr, H.S. (1947a)
میدان‌های درون‌زاد مرتبط با پدیده‌های تکوینی	– با سنجش میدان‌های درون‌زاد موجود در تخم، می‌توان مکان سر در جنین ابتدایی را پیش‌بینی کرد. – میدان‌های درون‌زاد جنین دوزیست بسیاری از فرایندهای ریخت‌زایی را هدایت می‌کند. – میدان‌های الکترومغناطیسی درون‌زاد قبل از ظهور اندام‌ها ایجاد شده. بنابراین می‌توان اندام‌زایی را پیش‌بینی کرد.	Burr, H.S. (1941a), D. Borgens, R. B. (1989), Borgens, R. B., Metcalf, M. E. (1994), Borgens, R. B. (1979), Levin, M. (2003), D. Borgens, R. B. (1989)

۴ نتیجه‌گیری

در این بازنگری، میدان‌های الکترومغناطیسی جنینی مورد بررسی قرار گرفتند. گورویچ[8] تقریباً صد سال پیش بیان داشت سلول‌ها، میدان‌هایی را به منظور تعیین سرنوشت نهایی خود طی تکوین ایجاد می‌کنند. آزمایش‌های بی‌نظیر بورگنز، روبینسون و هوتاری[9] مفهوم جدیدی از تکوین را ارائه کرد. بورگنز نشان داد میدان‌های الکتریکی، شیب‌های ولتاژ سه بعدی را درون جنین ایجاد می‌کنند که در مسیر تکوین جاندار نقش بسیار مهمی دارند. او حتی توانست توپوگرافی این میدان‌های درون‌زاد را ترسیم کند. جریان‌های الکتریکی اولیه‌ی جنین در راستای محورهای صلی جنین –سر – دم) و پشتی – شکمی شکل می‌گیرند. شیب‌های ولتاژ همانند آنچه در طول محور سر – دم ایجاد می‌گردد به سلول‌ها در شناسایی موقعیت‌شان کمک کرده و مهاجرت آنها را در مسیر صحیح ممکن می‌سازد.

میدان‌های ایجاد شـده درون جنین در نقاط مختلف و زمان‌های مختلف یکسان نیستند و همین امر سبب ایجاد الگوهای پیچیده‌ای از میدان در سراسر جنین می‌شود و به دنبال آن ساختارها و بافت‌های متفاوتی در قسمت‌های مختلف جنین شکل می‌گیرد. سلول‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را به میدان‌های الکترو مغناطیسی موجود در جنین می‌دهند و حتی آستانه‌ی خاصی برای پاسخ خود به میدان دارند.

روبینسون ثابت کرد که جنین قادر است با تولید میدان‌های الکترو مغناطیسی، تشکیل ساختارهای خاص و تعیین قطبیت بخش‌های مختلف را هدایت کند. برای مثال شکل‌گیری لوله‌ی عصبی، روده و جوانه‌ی اندام

[8] Gorwitch
[9] Borgens, Robinson, Hotary

حرکتی در نتیجه‌ی ظهور وابسته به زمان و مکان این میادین است.

یافته‌های این محققان در طول سی سال اخیر تحولی عظیم در درک چگونگی تکوین و رشد موجود زنده ایجاد کرده است. امید آن می‌رود که بتوان در آینده‌ای نزدیک به درک بیشتری از مکانیسم‌های تکوین در سطح سلول، بافت و حتی ژن‌ها برسیم و بتوانیم در مراحل بالاتر در جهت ترمیم و درمان ضایعات با داشتن درک درستی از میادین الکترومغناطیسی درون‌زاد گام برداریم.

پیشنهادهایی جهت انجام تحقیقات گسترده در آینده:

- ارزیابی نقش میدان‌های الکترومغناطیسی بر عملکرد ، مهاجرت و سرنوشت سلولی
- ارزیابی نقش میدان‌های الکترومغناطیسی بر القای تمایز عصبی سلول‌های بنیادی
- انتقال هدفمند و کارامد ژن به سلول تحت میدان مغناطیسی و بکارگیری نانوذرات مغناطیسی
- تعیین روند تکوین جنین و سرنوشت سلولی با بکارگیری میادین و نانوذرات مغناطیسی
- تعیین مسیر سرنوشت سلولی با بکارگیری میادین و تابش‌های خاص

مراجع

[1] Altizer, A., Moriarty, L., Bell, S., Schreiner, C., Scott, W., Borgens, R. (2001). “Endogenous electric current is associated with normal development of the vertebrate limb”. Dev Dyn 221:391-401.

[2] Anderson, M., Bowdan, E., Kunkel, J.G. (1994). “Comparison of defolliculated oocytes and intact follicles of the cockroach using the vibrating probe to record steady currents”. Dev Biol 162: 111-122.

[3] Asashima, M., Shimada, K. Pfeiffer, C. J. (1991). “Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt”. Bioelectromagnetics 12:215-224.

[4] Barish, M. E. (1983). “Atransient calcium-dependent chloride current in the immature Xenopus oocyte”. J Physiol 342:309-325.

[5] Bohrmann, J., Dorn, A., Sander, K., Gutzeit, G. (1986a). “The extracellular electrical current pattern and its variability in vitellogenic Drosophila follicles”. J, Cell Sci 81:189-206.

[6] Borodin, Y.I., Letiagin, A.Y. (1990). “Reaction of circadian rhythms of the lymphoid system to deep screening from geomagnetic fields of the earth”. Biull Eksp Biol Med 109(2):191-193.

[7] Bohrmann, J., Huebner, E., Sander, K., Gutzeit, H. (1986b). “Intracellular electrical potential measurements in Drosophila follicles”. J, Cell Sci 81:207-221.

[8] Barnes, F.S. (1992). “Some engineering models for interactions of electric and magnetic fields with biological systems”. Bioelectromagnetics Suppl 1:67-85.

[9] Borgens, R. B. (1982). “What is therole of naturally produced electric current in vertebrate regeneration and healing’?” Int. Rev. Cytology, Vol. 76, pp. 245-298.

[10] D. Borgens, R. B. (1989). “Natural and Applied Currents in limb Regeneration and Development”. In Electric Field and Vertebrate Repair, pp.27-75.

[11] Borgens, R. B., Callahan, L., Rouleav, M. F. (1987). “Anatomy of axolotl flank integument during limb bud development with special reference to a transcutaneous current predicting limb formation”. J. Exp. Zool., Vol. 244, pp. 203-214.

[12] Borgens, R. B., Metcalf, M. E. (1994). “Weak applied voltage interfere with amphibian morphogenesis and pattern”. J. Exp. Zool., Vol. 268, pp. 322-338.

[13] Borgens, R. B., Rouleav, M.F., Delanney, L.E. (1983). “A steady efflux of ionic current predicts hind limb development in the axolotl”. J. Exp. Zool., Vol. 228, pp. 491-503.

[14] Borgens, R. B., Shi, R. (1995). “Three-dimentional gradiants of voltage during development of the nervous system as invisible coordinates for the establishment of embryonic pattern”. Dev Dyn, Vol. 202, pp. 101-114.

[15] Borgens, R. B. (1995). “Uncoupling histogenesis from morphogenesis in the vertebrate embryo by collapse of transneural tube potential”. Dev Dyn, Vol. 203, pp. 456-467.

[16] Borgens, R. B. (1979). “Small artificial currents enhance Xenopus limb regeneration”. J. Exp. Zool., Vol. 207, pp. 217-255.

[17] Burr, H.S. (1941a). “Field properties of the developing frog’s egg”. Proc, Natl Acad Sci USA 27:276-281.

[18] Burr, H.S. (1947a). “Field theory in biology”. Sci Mon 64:217-225.

[19] Burr, H.S., Musselman, L.K., Barton, D.S., Kelly, N.B. (1937). “A bioelectric record of human ovulation”. Science 86:312.

[20] Brown, F.A., Webb, H.M., Brett, W.J. (1955b). “Magnetic response of an organismand its lunar relationships”. Biol Bull 118:382-392.

[21] Brown, F.A., Scow, K.M. (1978). “Magnetic induction of a circadian cycle in hamsters”. J, Interdiscip Cycle Res 9:137-145.

[22] Becker, R.O. (1960). “Bioelectric field pattern in the salamander and its simulation by an electronic analog”. IRE Trans Med Electron ME-7:202-206.

[23] Barnothy, M.F. (1969). “Biological effects of magnetic fields”. Vol 2. NY: Plenum Press.

[24] Becker. G. (1976). “Reaction of termites to weak alternating magnetic fields”. Naturwissenschaften 63:201-202.

[25] Basset, C.A.L. (1993). “Beneficial effects of electromagnetic fields”. J, Cell Biochem 31:387-393.

[26] Chwirot, W.B., Dygdala, R.S. (1986). “Light transmission of scales overing male inflorescences and leaf buds in Larch during microsporogenesis”. J Plant Physiol 125:79-86.

[27] Cole, F.E., Graf, E.R. (1974). “Precambrian ELF and abiogenesis”. In: Persinger MA, editor. ELF and VLF electromagnetic field effects. New York: Plenum Press.

[28] Friedman, H., Becker, R.O., Bachman, C.H. (1963). "Geomagnetic parameters and psychiatric hospital admissions". Nature, 200:626-628.

[29] Funk, R.H., Monsees, T.K., et al. (2009). "electromagnetic Effects - from cell biology to medicine". Progress in Histochemistry and Cytochemistry 43 (2009) 177-264 .

[30] Gould, J. L. (1984). "Magnetic field sensitivity in animals". Annu Rev Physiol 46:585-598.

[31] Gurwitsch, A. A. (1988). "A historical review of the problem of mitogenetic radiation". Experientia 44:545- 550.

[32] Hotary, K.B., Robinson, K.R. (1991). "The neural-tube of the Xenopus embryo maintains a potential difference across itself". Dev Brain Res 59:65-73.

[33] Jaffe, L.F., Poo. M. M. (1979). "Neurites grow faster toward the cathode than the anode in a steady field". J. Exp, Zool., Vol. 209, pp. 115-128.

[34] Jaffe, L.F., Nuccitelli, R. (1974). "An ultrasensitive vibrating prob for measuring steady extra-cellular currents". J, Cell Biol., Vol,63, pp.115-128.

[35] Jaffe, L. (1981). "The role of ionic currents in establishing developmental pattern". Philos Trans R Soc Lond B 295:553-566.

[36] Levin, M., Thorlin, T., Robinson, K., Nogi, T., Mercola, M. (2002). "Asymmetries in Hp/Kp-ATPase and cell membrane potentials comprise a very early step in left-right patterning". Cell 111:77-89.

[37] Levin, M. (2001). "Isolation and community: The role of gap junctional communication in embryonic patterning". J, Membr Biol 185: 177-192.

[38] Levin, M. (2003). "Bioelectromagnetics in Morphogenesis". J, Bioelectromagnetics 24:295-315.

[39] Lund, E.J. (1921). "Experimental control of organic polarity by the electric current I". J Exp Zool 34:471-494.

[40] Lund, E.J. (1923). "Experimental control of organic polarity by the electric current III". J Exp Zool 37:69-87.

[41] Lund, E. (1947). "Bioelectric fields and growth". Austin: University of Texas Press.

[42] Malin, S.R.C., Srivastava, B.J. (1979). "Correlation between heart attacks and magnetic activity". Nature 277:646-648.

[43] McCaig, C.D. (1986a). "Dynamic aspects of amphibian neurite growth and the effects of an applied electri field". J Physiol 375:55-69.

[44] McCaig, C.D. (1986b). "Electric fields, contact guidance and the direction of nerve growth". J, Embryol Ex Morphol 94:245-255.

[45] McCaig, C.D. (1987). "Spinal neurite reabsorption and regrowth in vitro depend on the polarity of a applied electric field". Development Suppl 100:31-41.

[46] Nuccitelli, R. (1983). "Transcellular ion currents: Signals and effectors of cell polarity". Mod Cell Biol 2:451-481.

[47] Nuccitelli, R., Erickson, C.A. (1983). “Embryonic cell motility can be guided by physiological electric fields”. Exp Cell Res 147: 195-201.