

تأثیرات میدان مغناطیسی ایستا بر سلول‌های سرطانی در سطوح اتمی و مولکولی

معصومه اکبری، حمید مباشری *

آزمایشگاه بیوفیزیک غشا و ماکرومولکول، مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(این مقاله در مجموعه سمینارهای تحصیلات تکمیلی بیوفیزیک در نیمسال دوم ۱۴۰۴-۵ ارائه گردید)

چکیده

مقدمه: میدان‌های مغناطیسی ایستا می‌توانند فرآیندهای زیستی را در سطوح اتمی، مولکولی و سلولی تحت تأثیر قرار دهند. این میدان‌ها با اثرگذاری بر زوج‌های رادیکالی از طریق نوسانات سینگلت-تریپلت، مسیرهای شیمیایی سلول را تغییر می‌دهند. افزایش غلظت Ca^{2+} در اثر قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی ایستای ۶ میلی‌تسلا می‌تواند آپوپتوز را تعدیل کرده و بقای سلول را تحت شرایط استرس افزایش دهد [۱]. میدان‌های مغناطیسی ایستای ۸، ۳۰ و ۳۰۰ میلی‌تسلا نیز می‌توانند موجب تغییرات مورفولوژیک (گرد شدن سلول، جدا شدن و تشکیل بلب)، کاهش میکروویلی‌ها و آسیب به غشای سطحی، از بین رفتن هم‌راستایی سلول‌ها و افزایش زبری غشای سلولی شوند [۲]. در سرطان پستان سه گانه منفی، مواجهه سلول‌های MDA-MB-231 با میدان‌های مغناطیسی ایستای ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌تسلا باعث تغییرات مورفولوژیک و توقف چرخه‌ی سلولی در فاز G0/G1 می‌شود [۳]. علاوه بر این، میدان‌های مغناطیسی ایستای متوسط و قوی می‌توانند به صورت مستقیم پروتئین‌هایی مانند EGFR را از طریق تغییر جهت‌گیری مولکولی آن‌ها مهار کرده و تکثیر سلول‌های سرطانی را سرکوب کنند [۴]. یک میدان مغناطیسی ایستای ۱ تسلا نیز با مهار مسیر سیگنال‌دهی Akt/mTOR، رشد سرطان را کاهش می‌دهد. در مجموع، میدان‌های مغناطیسی ایستا به عنوان یک رویکرد غیرتهاجمی برای درمان سرطان دارای پتانسیل قابل توجهی هستند [۵].

روش‌ها: کشت سلولی. میکروفلورومتري برای اندازه‌گیری Ca^{2+} داخل سلولی و فلوسایتمتری برای تعیین میزان آپوپتوز و جمعیت‌های سلولی به کار رفت. رنگ‌آمیزی H&E، رنگ‌آمیزی فالوئیدین، تصویربرداری فلورسانس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری و میکروسکوپ نیروی اتمی برای بررسی مورفولوژی از سطح سلولی تا مقیاس نانو استفاده شدند. آزمون MTT برای ارزیابی زنده‌مانی سلول‌ها و آنالیز چرخه سلولی به کار رفت. آزمون‌های کیناز برای اندازه‌گیری فسفریلاسیون EGFR و B-Raf انجام شدند و نرم‌افزار ImageJ برای کمی‌سازی سیگنال‌های پروتئینی استفاده شد. میکروسکوپ تونلی روبشی برای مشاهده EGFR با تفکیک‌پذیری اتمی به کار رفت، در حالی که شبیه‌سازی‌های دینامیک مولکولی پویایی ساختاری آن را مدل‌سازی کردند. در این شبیه‌سازی‌ها، AMBER، TIP3P و روش Ewald PME به ترتیب برای تعریف میدان‌های نیرو، رفتار مولکول‌های آب و برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی استفاده شدند.

بحث و نتیجه: میدان‌های مغناطیسی ایستا بسته به شدت خود می‌توانند مورفولوژی سلول، سازمان‌دهی اسکلت سلولی و بقا یا مرگ سلولی را تغییر دهند. میدان‌های با شدت کم تا متوسط (۱۰ تا ۱۵ میلی‌تسلا) باعث القای آپوپتوز و توقف چرخه سلولی در سلول‌های سرطانی می‌شوند. میدان‌های قوی‌تر (۸۰ تا ۳۰۰۰ گوس) تغییرات مورفولوژیک شدید و آپوپتوز را در سلول‌های گلیوبلاستوما ایجاد می‌کنند. همچنین میدان‌های مغناطیسی ایستای بسیار قوی (۱ تا ۹ تسلا) با مهار سیگنال‌دهی EGFR و مسیر Akt/mTOR رشد سرطان را سرکوب کرده و اثربخشی مهارکننده‌های mTOR را افزایش می‌دهند.

استنتاج: میدان‌های مغناطیسی ایستا اثراتی وابسته به شدت بر سلول‌های سرطانی اعمال می‌کنند و می‌توانند مورفولوژی سلولی و سازمان‌دهی اسکلت سلولی را تحت تأثیر قرار دهند. میدان‌های مغناطیسی ایستای با شدت بالا قادرند فعال‌سازی EGFR را مختل کرده و مسیر سیگنال‌دهی پایین‌دستی Akt/mTOR را مهار کنند. این فرایند در نهایت منجر به کاهش تکثیر و رشد سلول‌های توموری می‌شود. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند که میدان‌های مغناطیسی ایستا ممکن است در مهار رشد سلول‌های سرطانی در سطوح اتمی و مولکولی نقش بالقوه‌ای داشته باشند.

کلیدواژه: بیوفیزیک، میدان مغناطیسی ایستا، سلول‌های سرطانی، حساسیت مغناطیسی، اثرات اتمی و مولکولی

مراجع

1. Teodori L, Göhde W, Valente MG, Tagliaferri F, Coletti D, Perniconi B, Bergamaschi A, Cerella C, Ghibelli L. Cytometry. 2002;49:143-149.
2. Teodori L, Albertini MC, Uguccioni F, Falcieri E, Rocchi MBL, Battistelli M, Coluzza C, Piantanida G, Bergamaschi A, Magrini A, Mucciato R, Accorsi A. Cytometry Part A. 2005;69A:75-85.
3. Quenawy HS, Nafea H, Salah N, Youness RA, Mohamed N, Ghannam MM, Serag NM. Medical Oncology. 2025;43:7.
4. Zhang L, Wang J, Wang H, Wang W, Li Z, Liu J, Yang X, Ji X, Luo Y, Hu C, Hou Y, He Q, Fang J, Wang J, Liu Q, Li G, Lu Q, Zhang X. Oncotarget. 2016;7(27).
5. Zhang L, Yang X, Liu J, Luo Y, Li Z, Ji X, Wang W, Zhang X. Life & Medical Sciences. 2015;60(24):2120-2128.