مجله علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی
دوره 22، شماره 4، زمستان 91، صفحات 251 تا 258

Original Article

اثر فاکتور رشد مشابه انسولین (IGF-I) در آپوپتوز سلول‌های تخمدان هامستر چینی جهت تولید داروهای زیستی

سمیه پیروزمند[2,1]، مهران میراولیایی[2]، سید محمد اطیابی[1]، هومن کاغذیان[3]، جمال مشتاقیان[2]، شیوا ایرانی[4]، داریوش نوروزیان[3]

[1] بخش تحقیق و توسعه، مجتمع تولیدی و تحقیقاتی انستیتو پاستور ایران
[2] بخش سلولی و مولکولی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان
[3] بخش پایلوت بیوتکنولوژی، انستیتو پاستور ایران
[4] مرکز تحقیقات مهندسی زیست فناوری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

سابقه و هدف: *توانایی کاهش مرگ سلول‌ها ناشی از آپوپتوز و حفظ طولانی‌مدت بقاء آنها در محیط‌های بدون سرم در کشت سلولی، موضوعات مهمی در تولید پروتئین‌های نوترکیب می‌باشند. فاکتور رشد مشابه انسولین (IGF-I) فاکتور رشد انتخابی جهت تکثیر سلول‌های پستانداران در محیط‌های کشت بدون سرم است که علاوه بر فعالیت میتوژنی، دارای فعالیت آنتی‌آپوپتوزی در برابر محرک‌های القاءکننده مرگ می‌باشد. در این مطالعه، اثر آنتی‌آپوپتوزی غلظت‌های متفاوت IGF-I طی زمان‌های 24 و 48 ساعت بر روی رده سلول‌های تخمدان هامستر K1 بررسی گردید.*

روش بررسی: *در این مطالعه تجربی، سلول‌ها در محیط کشت DMEM حاوی آنتی‌بیوتیک به همراه ده درصد سرم جنین گاوی کشت داده شدند. آپوپتوز در سلول‌ها توسط متوتروکسات القاء گردید، سرم حذف شد و در نهایت غلظت‌های 50-10 نانوگرم/میلی‌لیتر IGF-I اضافه گشت. فرایند آپوپتوز توسط کیت تشخیصی کاسپاز 3 و تکثیر سلول‌ها با روش تعیین تکثیر و بقاء سلولی (MTT) مورد بررسی قرار گرفت.*

یافته‌ها: *با افزایش غلظت IGF-I، فعالیت کاسپاز 3 کاهش معنی‌داری را نشان داد، به طوری که در بالاترین غلظت IGF-I (50 نانوگرم/میلی‌لیتر) و با مقایسه با گروه کنترل منفی، پس از تیمار 24 و 48 ساعت به ترتیب 1/7 و 1/4 برابر کاهش فعالیت کاسپاز 3 مشاهده شد که موید فعالیت آنتی‌آپوپتوزی این فاکتور جهت حفظ بقاء سلول‌های کشت داده شده در برابر محرک‌های القایی آپوپتوز (متوتروکسات) می‌باشد.*

نتیجه‌گیری: *IGF-I به عنوان فاکتور آنتی‌آپوپتوزی، مرگ برنامه‌ریزی شده سلول‌های CHO-K1 را در شرایط القایی آپوپتوزی کاهش داد.*

واژگان کلیدی: *آپوپتوز، سلول‌های تخمدان هامستر چینی، فاکتور رشد مشابه انسولین، کاسپاز 3، کشت سلولی.*

مقدمه

آپوپتوز یا مرگ برنامه‌ریزی شده سلول یک فرایند ژنتیکی است که توسط محرک‌های محیطی فعال می‌شود و برای تکوین طبیعی، هموستازی موجود زنده چند سلولی، فرآیندهای دفاعی و پاسخ های ایمنی ضروری می‌باشد (3-1). در کشت رده‌های سلولی پستانداران که از نظر صنعتی حائز اهمیت هستند، مانند سلول‌های تخمدان هامستر چینی (CHO: Chinese Hamster Ovary Cells) و سلول‌های کلیه نوزاد هامستر (BHK: Baby Hamster Kidney Cells) در بیوراکتور (دستگاهی در کشت سلولی که سلول‌ها در آن رشد می‌کنند)، آپوپتوز بسیار شایع است که می‌تواند به علت محدوده وسیعی از فاکتورهای فیزیولوژی و غیرفیزیولوژی مانند

آدرس نویسنده مسئول: تهران، بخش تحقیق و توسعه، مجتمع تولیدی و تحقیقاتی انستیتو پاستور، دکتر سید محمد اطیابی (**email**: mohammadatyabi@yahoo.com)
تاریخ دریافت مقاله: 1390/12/15
تاریخ پذیرش مقاله: **91/7/1**

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

اتمام مواد غذایی یا فاکتورهای رشد در محیط کشت، تجمع مواد سمی، افزایش اسمولاریته، تغییرات pH و دما، آلودگی ویروسی و تغییرات نامتعادل اکسیژن باشد (7-4).

سلول‌های پستانداران مانند سلول‌های CHO در تولید انبوه پروتئین‌های نوترکیب، مانند آنتی‌بادی‌های مونوکلونال، واکسن‌ها، پلاسمینوژن‌ها و اینترفرون‌های مورد استفاده در درمان‌های دارویی و تشخیصی کاربرد دارند (8). به علت دست‌کاری ژنتیکی آسان، بیان مقادیر بالایی از پروتئین‌های نوترکیب و توانایی رشد نسبتا سریع، سلول‌هایCHO نسبت به سایر رده‌های سلولی برای سالیان متمادی به عنوان یک سیستم مطمئن و ارزشمند در تولید پروتئین‌های نوترکیب به شمار می‌آیند (9). در صنعت بیوتکنولوژی بسیار مهم است که آپوپتوز را به منظور افزایش زمان بقاء سلول‌ها، تولید پروتئین‌های نوترکیب برای مدت طولانی و کاهش هزینه فرایند پایین دستی (Down-Stream)، در محیط کشت مهار یا به تاخیر بیندازیم. جهت افزایش مقدار پروتئین‌های نوترکیب در مرحله تولید و همچنین به منظور جلوگیری از آپوپتوز، دو روش عمده وجود دارد:

1- دست‌کاری در محیط کشت سلول (روش‌های شیمیایی و تغذیه‌ای) 2- استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک در داخل سلول (4).

اولین اقدام مهاری جهت تاخیر آپوپتوز سلولی، تغییر شرایط تغذیه‌ای می‌باشد که در هیبریدوما و رده‌های سلولی بیان‌کننده پروتئین‌های نوترکیب، افزایش بقاء سلول‌ها را موجب می‌شود (13-10). رشد سلول‌ها در کشت بستگی به حضور فاکتورهای رشد و سیتوکین‌های موجود در سرم دارد، بنابراین در بسیاری از رده‌های سلولی در صنعت بیوتکنولوژی و در شرایط بدون سرم آپوپتوز اتفاق می‌افتد (14). وجود مشکلات استفاده از سرم در محیط کشت مانند آلودگی ویروسی، هزینه بالا و تغییر در کشت بچ (Batch) (بچ، سیستم کشت بسته در مقادیر بالا می‌باشد که سلول‌ها یا میکروارگانیسم‌ها در حجم معینی، تحت شرایط محیطی خاص (مانند نوع تغذیه، دما، فشار) در محیط کشت مایع مغذی رشد می‌نمایند.) موجب پیشرفت محیط‌های بدون سرم شده است، این محیط‌ها بسیار پیچیده و حاوی مواد افزودنی مانند فاکتورهای رشد (انسولین، فاکتور رشد مشابه انسولین (Insulin Like Growth Factor I) ، فاکتور رشد فیبروبلاست) و انتقال‌دهنده‌های آهن (مانند ترانسفرین)، مواد احیاءکننده (گلوتاتیون)، فلزات کمیاب (روی، سلنیوم)، لیپیدها یا پیش‌سازهای لیپیدی و حامل‌ها (اسید لینولئیک، اسید لیپوئیک) می‌باشند (16، 15). اضافه‌کردن فاکتورهای میتوژنی مانند انسولین و IGF-I در محیط کشت بدون سرم، آپوپتوز را در سلول‌های CHO مهار، موجب افزایش رشد و حفظ بقاء سلول‌ها می‌شود. IGF-I به دلیل شباهت ساختاری با انسولین در توالی‌های اسیدآمینه‌ای، ساختار سه‌بعدی و همچنین گیرنده می‌تواند به عنوان یک میتوژن، جایگزین انسولین شود و از طریق گیرنده‌اش، آپوپتوز را در کشت‌هایی که در معرض محرک‌های القاءکننده مرگ قرار گرفته‌اند، مهار نماید (۱۰،۱۸). علاوه بر این IGF-I رشد سلولها را در غلظت‌های بسیار پایین و در محیط کشت بدون سرم حمایت می‌کند (19). IGF-I به گیرنده تیروزین کینازی خود متصل شده، باعث فعال شدن دو مسیر سیگنالی مهم MAPK/ERK و PI3K/AKt می‌شود و در نهایت منجر به فعالیت‌های فیزیولوژی متعدد درون سلولی مانند پیشرفت چرخه سلولی، تمایز، تکثیر، حفظ بقاء سلول‌ها و مهار آپوپتوز می‌شود (۳،۱۹،۲۰).

هدف ما در این مطالعه، بررسی نقش IGF-I (با توجه به دو متغیر غلظت و زمان) در تکثیر، حفظ بقاء و کاهش یا مهار آپوپتوز بر روی رده سلول‌های وابسته به تکیه‌گاه (Anchorage Dependent) تخمدان هامستر چینیK1 و در محیط کشت کامل همراه با داروی متوتروکسات، جهت ایجاد آپوپتوزف بود. متوتروکسات باعث القاء آپوپتوز وابسته به کاسپاز گشته که این القاء به دو پارامتر غلظت و زمان بستگی دارد. استفاده از این دارو، باعث تشکیل آپوپتوزوم، فعال شدن آنزیم کاسپاز 3 و شکست سوبسترای آن، پلی‌آدنوزین دی‌فسفات ریبوز پلی‌مراز (PARP) می‌شود (21).

مواد و روشها

مواد و کشت سلولی

رده سلولی وابسته به تکیه‌گاه CHO-K1 (ATCC CCL61) از انستیتو پاستور تهران تهیه شد. فاکتور رشد IGF-I (13769)، MTT (I23K74156) و متوتروکسات (A6770) از شرکت سیگما (Sigma) و کیت کالریمتریک کاسپاز 3 (KHZ0022) از شرکت Invitrogen تهیه گردید. سلول‌ها در محیط کشت کامل حاوی DMEM (Gibco) (Dulbecco's Modified Eagle Medium) همراه با یک درصد آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین-استرپتومایسین (Sigma) و ده درصد سرم جنین گاوی (Gibco)(FBS: Dulbecco's Modified Eagle Medium) کشت داده شدند و در انکوباتور 37 درجه

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

سانتی‌گراد، 95 درصد رطوبت و 5 درصد CO2 حفظ گردیدند. افتراق سلول‌های زنده از مرده توسط رنگ‌آمیزی با تریپان بلو و شمارش در هموسایتومتر مشخص شد. پاساژهای متعدد سلول‌ها و مورفولوژی آنها از طریق میکروسکوپ معکوس مورد بررسی قرار گرفت.

سنجش تکثیر سلولی

این سنجش که بر پایه احیاء آنزیمی ۴،۵ دی‌متیل تیازول 2-5 دی‌فنیل تترازولیوم بروماید (MTT) و تشکیل کریستال‌های فورمازان توسط آنزیم‌های دی‌هیدروژناز سلولی و میتوکندری است، شاخص بقاء سلول‌ها می‌باشد. سلول‌های CHO-K1 به تعداد 2×10^4 سلول/چاهک همراه با 100 میکرولیتر محیط کشت کامل در میکروپلیت 96 خانه‌ای ته صاف کشت داده شدند و در انکوباتور به مدت 24 ساعت انکوبه گردیدند تا سلول‌ها به کف پلیت متصل شوند. پس از 24 ساعت، 100 میکرولیتر محیط کشت کامل همراه با متوتروکسات (به عنوان القاءکننده آپوپتوز) جایگزین محیط قبلی شد. پس از تیمار 72 ساعت با متوتروکسات، سلول‌ها با غلظت‌های 50-10 نانومولار/میلی‌لیتر IGF-I طی مدت زمان 24 و 48 ساعت تیمار شدند. محیط کشت حاوی متوتروکسات و بدون IGF-I به عنوان گروه کنترل مثبت و محیط کشت بدون داروی متوتروکسات و IGF-I به عنوان گروه کنترل منفی در نظر گرفته شد. 10 میکرولیتر ماده زردرنگ MTT (غلظت 5 میلی‌گرم/میلی‌لیتر) به هر چاهک حاوی سلول اضافه گردید و در انکوباتور 37 درجه سانتی‌گراد و 5 درصد CO_2 به مدت چهار ساعت قرار داده شد. سپس محتویات کشت دور ریخته شده، کریستال‌های فورمازان به مدت 10-5 دقیقه با 100 میکرولیتر حلال DMSO در دمای اتاق حل شدند و با استفاده از دستگاه رنگ‌سنجی الایزا جذب نمونه‌ها در طول موج 570 نانومتر ثبت و نسبت به جذب 630 نانومتر سنجیده شدند. آزمون فوق سه مرتبه تکرار شده و این آزمون براساس شرایط سلول‌ها، سه بار متوالی انجام گردید. علاوه بر آزمون ذکر شده، سلول‌ها به تعداد 2×10^4 در هر چاهک از پلیت‌های 96 خانه‌ای، طی مدت زمان 24 ساعت کشت داده شدند. سپس محیط کشت قبلی با محیط کشت تازه بدون سرم حاوی غلظت‌های 50-10 نانومولار/میلی‌لیتر IGF-I تعویض گردید و سلول‌ها طی مدت زمان 24ساعت تحت تیمار قرار گرفتند. محیط کشت بدون سرم و IGF-I به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد. بر طبق دستورالعمل MTT، جذب نمونه‌ها در طول موج 570 نانومتر ثبت گردید. آزمون فوق سه مرتبه تکرار شده و این آزمون براساس شرایط سلول‌ها، سه بار متوالی انجام گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاسپاز 3

براساس دستورالعمل کیت کالریمتریک کاسپاز 3، فعالیت پروتئازی کاسپاز براساس شناسایی و شکست توالی آمینواسیدی DEVD-pNA سوبسترای آن، پلی آدنوزین دی‌فسفات ریبوز پلی‌مراز (PARP)، اندازه‌گیری می‌شود. تعداد 1×10^6 سلول همراه با 5 میلی‌لیتر محیط کشت کامل در فلاسک‌های 25 سانتی‌متر مربع کشت داده شدند. در شرایط یکسان از نظر تراکم سلولی، محیط جدید به همراه ماده متوتروکسات جهت القاء آپوپتوز اضافه گردید. پس از تیمار 72 ساعت با متوتروکسات، محیط کشت جدید بدون سرم حاوی غلظت‌های 50-10 نانومولار/میلی‌لیتر فاکتور رشد IGF-I به فلاسک‌ها اضافه گردید و جایگزین محیط کشت قبلی شد. پس از تیمارهای 24 و 48 ساعت، سلول‌ها با تریپسین/EDTA جدا شده، با دور RPM (Revolutions Per Minute) 1500 به مدت 5 دقیقه سانتریفوژ و شمارش شدند. با اضافه نمودن 50 میکرولیتر بافر لیزکننده، سلول‌ها به صورت سوسپانسیون در یخ، به مدت ده دقیقه انکوبه و سانتریفوژ (1 دقیقه و 10000g) گردیدند. سپس بافر واکنشی همراه با DTT و سوبسترای DEVD حاوی کروموفور نیتروانیلید (pNA: P-Nitroanilide) به سوپرناتانت حاصل از سانتریفوژ اضافه گردید و پلیت در انکوباتور 37 درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت انکوبه شد. شکست کروموفور p-NA توسط آنزیم کاسپاز 3، موید فعالیت آنزیم می‌باشد که نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ‌سنجی الایزا در طول موج 405 نانومتر ثبت و نسبت به جذب 630 نانومتر سنجیده شدند. آزمون فوق سه مرتبه تکرار شده و این آزمون براساس شرایط سلولها سه بار متوالی انجام گردید.

تحلیل آماری

برای تحلیل آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS (نسخه 16) استفاده گردید. آنالیز آماری داده‌ها با روش آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد. سطح معنی‌دار بین گروه‌های تحت تیمار، کوچک‌تر از 0/05 ($p<0/05$) در نظر گرفته شد.

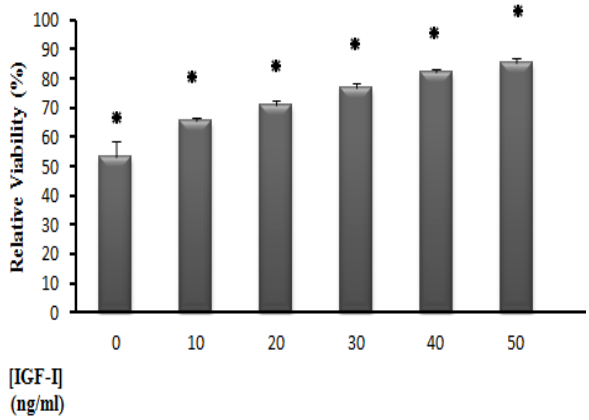
یافته‌ها

بقاء سلولی

بررسی نقش IGF-I در تکثیر و بقاء سلول‌های CHO-K1 همراه با شرایط بدون سرم نشان داد که میزان بقاء سلول‌ها در

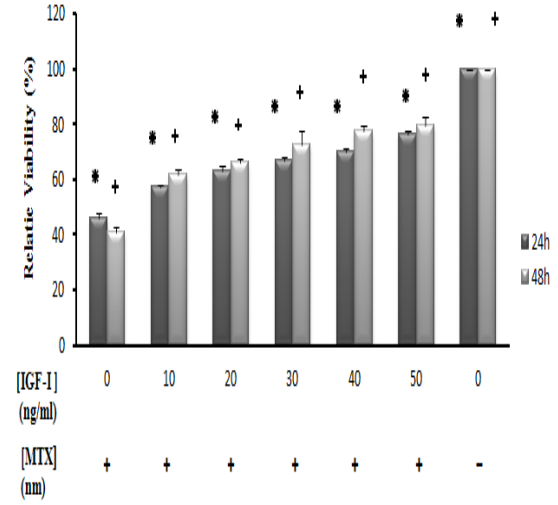
[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

سلول‌های تیمار شده با IGF-I نسبت به گروه کنترل (محیط کشت بدون IGF-I و سرم) طی مدت زمان 24 ساعت، اختلاف معنی‌داری را نشان داد (p<0/001). در گروه کنترل میزان بقاء سلول‌ها 53 درصد و با افزایش غلظت فاکتور رشد در سلول‌های تحت تیمار با IGF-I بقاء به میزان قابل توجهی افزایش یافت، به طوری‌که در غلظت50 نانوگرم/میلی‌لیتر IGF-I (بالاترین غلظت استفاده شده در این مطالعه)، میزان بقاء سلولها به 85 درصد رسید (شکل 1).



شکل 1- مقایسه غلظت‌های متفاوت IGF-I در تکثیر و بقاء سلولهای CHO-K1 در مدت زمان 24 ساعت. سلول‌های CHO-K1 به تعداد 2×10^4 سلول/ میلی‌لیتر کشت داده شدند. هر داده نشانگر میانگین و انحراف معیار حاصل ازحداقل سه تکرار می‌باشد. *p<0/001 اختلاف معنی‌دار گروه‌های حاوی IGF-I با گروه کنترل

فاکتور رشد مشابه انسولین در غلظت‌های بالاتر، بقاء و تکثیر سلول‌ها را در محیط‌های بدون سرم افزایش داده و روی میزان مرگ سلولها اثر کاهشی نشان داد. اثر این فاکتور رشد، بر روی سلول‌های CHO-K1 از الگوی وابسته به غلظت تبعیت می‌کند. بقاء سلولها در گروه تیمار شده با مقادیر متفاوت IGF-I با گروه کنترل مثبت(محیط حاوی متوتروکسات و فاقد فاکتور رشد)، مقایسه شد. پس از 24 و 48 ساعت انکوباسیون با ماده IGF-I، افزایش بقاء سلول‌ها وابسته به غلظت فاکتور رشد مشاهده گردید. در سلول‌های CHO-K1 تیمار شده با متوتروکسات مشاهده شد که 24 ساعت پس از حذف ماده متوترکسات از محیط کشت سلول و تیمار با IGF-I، با افزایش غلظت فاکتور رشد اثر متوتروکسات روی سلولها کاهش یافت و همچنین افزایش بقاء سلولی مشاهده شد. این فاکتور روی رشد سلولها اثرات مثبتی را نشان داد، به طوری که در غلظت 50 نانوگرم/میلی‌لیتر IGF-I در مقایسه با گروه کنترل مثبت، تقریبا 30 درصد سلولها افزایش تکثیر را نشان دادند و میزان بقاء سلول‌ها 76/1 درصد به دست آمد (p<0/001). بنابراین اضافه‌کردن فاکتور رشد از تعداد سلول‌های در حال مرگ کاسته، باعث افزایش میزان بقاء و تکثیر در سلول‌ها گردید. نتایج حاصل از 48 ساعت تیمار با IGF-I در سلول‌های CHO-K1 تیمار شده با متوتروکسات نشان داد که همانند تیمار 24ساعت، میزان مرگ سلول‌ها کاهش یافته، افزایش بقاء و تکثیر سلولها آشکار شد، به طوری که در غلظت 50 نانوگرم/میلی‌لیتر IGF-I در مقایسه با کنترل مثبت، 79/4 درصد بقاء و تقریبا 38/5 درصد افزایش تکثیر سلولی به دست آمد (p<0/001) (شکل 2).



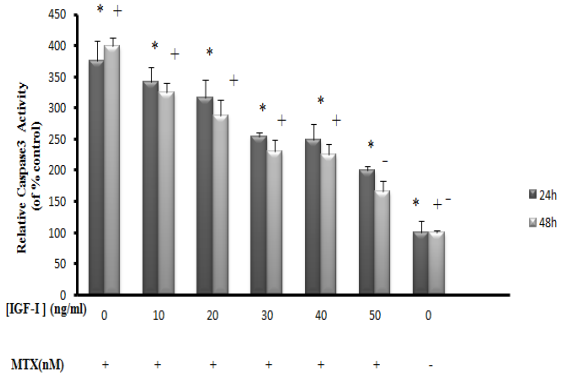
شکل 2- مقایسه بقاء در سلول‌های CHO-K1 القاء شده با متوتروکسات و تحت تیمار قرار گرفته با IGF-I در طی زمان‌های 24 و 48 ساعت. سلول‌های CHO-K1 به تعداد 2×10^4 سلول/ میلی‌لیتر کشت داده شدند. هر داده نشانگر میانگین و انحراف معیار حاصل از حداقل سه تکرار می‌باشد. *p<0/001 و +p<0/001 اختلاف معنی‌دار گروه‌های حاوی متوتروکسات و IGF-I با گروه کنترل مثبت.

فعالیت کاسپاز 3

با مقایسه گروه کنترل مثبت (حاوی متوتروکسات و بدون IGF-I) و سلول‌های تیمار شده با غلظت‌های متفاوت IGF-I با گروه کنترل منفی (بدون داروی متوتروکسات و IGF-I)، درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 به دست آمد. 24 ساعت پس از تیمار با IGF-I، بالاترین درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 مربوط به گروه کنترل مثبت با بیش از 3/2 برابر و کمترین درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 با 1/7 برابر مربوط به غلظت 50 نانوگرم/ میلی‌لیتر IGF-I بود.

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

48 ساعت پس از تیمار با IGF-I، بالاترین درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 مربوط به گروه کنترل مثبت با بیش از 3/4 برابر و کمترین درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 با 1/4 برابر مربوط به غلظت 50 نانوگرم/ میلی‌لیتر IGF-I بود (شکل3).



شکل 3- درصد افزایش فعالیت کاسپاز 3 ناشی از اثر IGF-I، در سلول‌های CHO-K1 القاء شده در طی مدت زمان 24 و 48 ساعت. سلول‌های CHO-K1 به تعداد 1×10^6 سلول/ میلی‌لیتر کشت داده شدند. هر داده نشانگر میانگین و انحراف معیار حاصل از حداقل سه بار تکرار می‌باشد. * $p<0/001$، + $p<0/001$ و - $p<0/01$ اختلاف معنی‌دار گروه‌های حاوی متوتروکسات و IGF-I با گروه کنترل منفی.

بحث

حفظ بقاء سلولها در کشت می‌تواند به علت مهار مستقیم آپوپتوز یا انعکاسی از افزایش میزان تکثیر باشد. آپوپتوز ممکن است با پاسخ مستقیم به فعالیت گیرنده‌های خاص (مانند گیرنده‌های فاکتور نکروزی توموری و گلوکورتیکوئید) یا اشعه ماوراءبنفش، مواد سمی مانند داروهای شیمی‌درمانی و اتمام مواد غذایی یا کاهش فاکتورهای رشد در محیط کشت القاء شود. لذا حساسیت سلول‌هایی که تحت این شرایط متحمل آپوپتوز می‌شوند، به پیام‌های درون سلولی تنظیم شونده توسط فاکتورهای رشد بستگی دارند که این فاکتورها روی فرایند آپوپتوز تاثیرگذار هستند (22). سنجش شاخص بقاء سلولی در این مطالعه نشان داد که در بالاترین غلظت IGF-I مورد مطالعه (50 ng/ml) همراه با شرایط بدون سرم، بقاء سلولی 85 درصد بوده و میزان تکثیر سلول‌ها نسبت به گروه کنترل (محیط بدون سرم) افزایش 30 درصدی را نشان داد. در نتیجه در غلظت‌های بالاتر، تکثیر سلولها در محیط‌های بدون سرم افزایش یافت و همچنین این فاکتور رشد مرگ سلول‌ها را کاهش داد؛ علاوه بر این بقاء سلول‌ها به میزان بالایی حفظ گردید. نقش IGF-I بر روی حفظ بقاء سلول‌های CHO-K1 از الگوی وابسته به غلظت تبعیت می‌کند. نتایج ما موافق با نتایج Adamson و همکارانش (2007) مبنی بر افزایش نجات، حفظ بقاء و مهار آپوپتوز در سلولهای CHO که به صورت سوسپانسیون در محیط بدون پروتئین رشد می‌کنند، می‌باشد. به طوری که در غلظت 20 ng/ml این فاکتور، بقاء سلولها در محیط بدون سرم نزدیک به 100 درصد گزارش گردید و هیچ سلول آپوپتوزی پس از 72 ساعت شناسایی نشد. همچنین در حضور این فاکتور رشد بیان پروتئین‌های Bcl2، Bax و کاسپاز 1 مهار گردید (19). نتایج اثر غلظت‌های متفاوت IGF-I (5-200 ng/ml) در شرایط بدون سرم (القاءکننده آپوپتوز) بر روی سلول‌های دیسک بین‌مهره‌ای (IVD) نشان داد که پایین‌ترین غلظت IGF-I (5 ng/ml)، ساخت DNA را به صورت کاملا مشخص تحریک نموده و بیشترین تحریک این فاکتور رشد 100 ng/ml گزارش شد. تحریک ساخت DNA توسط این فاکتور رشد، با فعال شدن هر دو مسیر پیام‌دهی MEK/ERK و PI3K/AKt می‌باشد. نتیجه تکثیر سلول‌ها و حفظ بقاء آنها در شرایط ذکر شده با نتیجه حاصل از این مطالعه مطابقت دارد (23). علاوه بر این استفاده از سلول‌های نوترکیب بیان‌کننده IGF-I، بقاء سلول‌های CHO را پس از حذف سرم در مرحله G_0/G1 چرخه سلولی در سطح بالایی حفظ نموده و باعث مهار آپوپتوز گردید (18، 17). در مطالعه حاضر، اثر فاکتور رشد IGF-I بر روی آپوپتوز القاء شده توسط متوتروکسات در سلول‌های CHO-K1 کاهش آشکاری را نشان داد. با حذف ماده القایی از محیط کشت و اضافه کردن فاکتور رشد از تعداد سلول‌های در حال مرگ کاسته شد، میزان بقاء سلول‌ها در حد بالایی حفظ گردید و علاوه بر این افزایش تکثیر سلول‌ها به دست آمد.

شکست پروتئولیتیک پروتئین‌های سلولی با ارزیابی فعالیت کاسپاز 3 مشخص شد، به طوری‌که در بالاترین غلظت IGF-I استفاده شده در این مطالعه (50 ng/ml) طی مدت زمان‌های 24 و 48 ساعت پس از تیمار، بیشترین کاهش فعالیت کاسپاز 3 به ترتیب 1/5 و 2 برابر مشخص گردید. پس با افزایش غلظت IGF-I، فعالیت کاسپاز 3 کاهش معنی‌داری را نشان داد که موید فعالیت آنتی‌آپوپتوزی این فاکتور جهت حفظ بقاء سلول‌های کشت داده شده در برابر محرک‌های القایی آپوپتوز (متوتروکسات) می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط Ma و همکاران در سال 2009 با بررسی نقش IGF-I در تنظیم چرخه سلولی و مهار مرگ در سلول‌های آندوتلیال ناف انسان انجام گردید، مشخص شد که پس از تیمار سلول‌ها با ماده افزایش دهنده مرگ سلولی (آنژیوتنسین) و استفاده از غلظت‌های متفاوت IGF-I (0/01، 0/5، 2/5 میکروگرم/میلی‌لیتر)، این فاکتور

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

رشد با القاء بیان پروتئین سیکلین E، مهار بیان پروتئین P21 و سرعت بخشیدن ورود سلول‌ها به مرحله S چرخه سلولی، باعث افزایش تکثیر سلول‌ها و حفظ بقاء آنها در شرایط القایی آپوپتوزی گردید که نتایج حاصل از اثر آنتی‌آپوپتوزی IGF-I این مطالعه با مطالعه حاضر مطابقت دارد (24). IGF-I از کاهش بقاء سلول‌های PC12 که تحت تاثیر MPP (1-Methyl-4-Phenylpyridiniumion) قرار گرفته اند، از طریق مسیر پیام دهی بتا 3- گلیکوژن سنتاز کیناز (GSK) جلوگیری نمود. بررسی غلظت‌های متفاوتی از IGF-I (0/33-1000nM) نشان داد که این فاکتور رشد در غلظت‌های پایین‌تر از 100 nM اثر سمی MPP را مهار نکرده، اما غلظت 1000 nM به صورت کاملا آشکار اثرات سیتوتوکسیسیتی را مهار نموده است (25). هم‌چنین اثر این فاکتور رشد بر میزان فسفریلاسیون فاکتور Bad فعال شده توسط ماده القاء کننده آپوپتوز، راپامایسین مورد بررسی قرار گرفته است. 30 دقیقه پس از این که سلولهای انسانی Rh1 توسط فاکتورهای رشد IGF-I و EGF تحریک شده بودند، بیشترین فسفریلاسیون Bad (غیرفعال شدن) مشخص گردید. این فسفریلاسیون در جایگاه سرین 112 نشان داده شد (26).

پس از تیمار سلول‌های آندوتلیال آپوپتوزی با فاکتورهای رشد IGF-I و bFGF، آپوپتوز ناشی از چهار ساعت تشعشع به ترتیب 34% و 63% مهار شد (27). در مطالعه‌ای که در سال 2003 با بررسی نقش IGF-I در مهار آپوپتوز بر روی سلولهای ماهیچه صاف عروقی توسط جمالی و همکارانشان صورت گرفت، جهت القاء آپوپتوز در سلول‌ها، سرم از محیط کشت حذف شد. نتایج حاصل نشان داد که پس از القاء، فعالیت کاسپاز 3 افزایش نشان داده، ولی استفاده از غلظت‌های 10^{-7} تا 10^{-11} مولار IGF-I نقش مهاری بر روی فعالیت کاسپاز 3 داشته و میزان فعالیت آن را کاهش می‌دهد (28). نقش آنتی‌آپوپتوزی این فاکتور رشد جهت مهار مرگ سلولی، از طریق اتصال به گیرنده IGF-I آغاز می‌گردد که با فعال شدن مسیر PI3K /AKt دنبال می‌شود که راهبرد سلول جهت افزایش پیام‌های نجات در سلول‌های متفاوتی که در برابر القاءکننده‌های مختلف آپوپتوز قرار گرفته‌اند، می‌باشد (33-29). نقش فاکتور رشد IGF-I در حفظ بقاء سلول‌ها در برابر آپوپتوز، در سلول‌های متفاوتی از قبیل فیبروبلاست‌های موشی(34)، سلول‌های HT29-D4 سرطان کولون انسانی (35)، سلول‌های شوان (36)، سلول‌های فیبروبلاست BALB/c3T (22)، سلول‌های SH-SY5Y نوروبلاستوما (37)، سلول‌های ماهیچه (38) و سلول‌های سرطانی MCF 7 (39) مورد مطالعه قرار گرفته است و این مطالعات اثر IGF-I را در تکثیر و حفظ بقاء بسیاری از سلولهای پستانداران تائید می‌نماید.

پس فاکتور رشد IGF-I وابسته به غلظت و در پاسخ به شرایط القایی آپوپتوزی، افزایش چشمگیری را در بقاء سلولی نشان می‌دهد، موجب رشد و تکثیر سلول‌ها شده و با کاهش آپوپتوز نقش مهمی را در نجات سلول‌ها ایفاء می‌نماید.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت انستیتو پاستور ایران واحد کرج و گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه اصفهان انجام گردید. بدین وسیله پژوهشگران مراتب سپاس و قدردانی خود را از خانم‌ها کریمی، رضایی، خسروی، صادقچه و خانم دکتر سلیمی، همچنین آقایان اردستانیان، دکتر خان احمد و دکتر آهنگری ابراز می‌دارند.

REFERENCES

1. Jin Z, El-Deiry WS. Overview of cell death signaling pathways. Cancer Biol Ther 2005; 4:139-63.
2. McConkey DJ, Orrenius S. Signal transduction pathways in apoptosis. Stem Cells 1996; 14:619-31.
3. Kooijman R. Regulation of apoptosis by insulin-like growth factor (IGF)-I. Cytokine Growth Factor Rev 2006;17:305-23.
4. Butler M. Animal cell cultures: recent achievements and perspectives in the production of biopharmaceuticals. Appl Microbiol Biotechnol 2005; 68:283-91.
5. Pratsinis H, Kletsas D. PDGF, bFGF and IGF-I stimulate the proliferation of intervertebral disc cells in vitro via the activation of the ERK and Akt signaling pathways. Eur Spine J 2007; 16:1858-66.
6. Hu WS, Aunins JG. Large-scale mammalian cell culture. Curr Opin Biotechnol 1997; 8:148-53.
7. al-Rubeai M, Singh RP. Apoptosis in cell culture. Curr Opin Biotechnol 1998; 9:152-56.
8. Merten OW. Introduction to animal cell culture technology-past, present and future. Cytotechnology 2006; 50:1-7.

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

9. Kumar N, Gammell P, Clynes M. Proliferation control strategies to improve productivity and survival during CHO based production culture: a summary of recent methods employed and the effects of proliferation control in product secreting CHO cell lines. Cytotechnology 2007; 53:33-46.

10. Arden N, Betenbaugh MJ. Life and death in mammalian cell culture: strategies for apoptosis inhibition. Trends Biotechnol 2004; 22:174-80.

11. Hu WS, Piret JM. Mammalian cell culture processes. Curr Opin Biotechnol 1992; 3:110-14.

12. Goswami J, Sinskey AJ, Steller H, Stephanopoulos GN, Wang DI. Apoptosis in batch cultures of Chinese hamster ovary cells. Biotechnol Bioeng 1999; 62:632-40.

13. Zanghi JA, Fussenegger M, Bailey JE. Serum protects protein-free competent Chinese hamster ovary cells against apoptosis induced by nutrient deprivation in batch culture. Biotechnol Bioeng 1999; 64:108-19.

14. Singh RP, Finka G, Emery AN, Al-Rubeai M. Apoptosis and its control in cell culture systems. Cytotechnology 1997; 23:87-93.

15. Kim DY, Lee JC, Chang HN, Oh DJ. Development of serum-free media for a recombinant CHO cell line producing recombinant antiboby. Enzyme Microb Technol 2006; 39: 426-33.

16. Makrides SC, Editor. Gene transfer and expression in mammalian cells. Norwood, Massachusetts: Elsevier Science; 2003.

17. Hunt SM, Pak SC, Bridges MW, Gray PP, Sleigh MJ. Chinese hamster ovary cells produce sufficient recombinant insulin-like growth factor I to support growth in serum-free medium. Serum-free growth of IGF-I-producing CHO cells. Cytotechnology 1997; 24:55-64.

18. Sunstrom NA, Gay RD, Wong DC, Kitchen NA, DeBoer L, Gray PP. Insulin-like growth factor-I and transferrin mediate growth and survival of Chinese hamster ovary cells. Biotechnol Prog 2000; 16:698-702.

19. Adamson L, Walum E. Insulin and IGF-1 mediated inhibition of apoptosis in CHO cells grown in suspension in a protein-free medium. Altern Lab Anim 2007; 35:349-52.

20. Jousan FD. Insulin-like growth factor-I and apoptosis as determinants of preimplantation bovine embryonic development (Dissertation). Florida University; 2006.

21. Huang CC, Hsu PC, Huang YC, F LY. Ornithine decarboxylase prevents methotrexate-induced apoptosis by reducing intracellular reactive oxygen species production. Apoptosis 2005; 10: 895-907.

22. Sell C, Baserga R, Rubin R. Insulin-like growth factor I (IGF-I) and the IGF-I receptor prevent etoposide-induced apoptosis. Cancer Reserch 1995; 55: 303-6.

23. Párrizas M, Saltiel AR, LeRoith D. Insulin-like growth factor 1 inhibits apoptosis using the phosphatidylinositol 3'-kinase and mitogen-activated protein kinase pathways. J Biol Chem 1997; 272:154-61.

24. Ma QL, Yang TL, Yin JY, Peng ZY, Yu M, Liu ZQ, Chen FP. Role of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in regulating cell cycle progression. Biochem Biophys Res Commun. 2009 ;389:150-5.

25. Suna X, Huang L, Zhang M, Sun S, Wu Y. Insulin like growth factor-1 prevents 1-mentyl-4-phenylphyridinium-induced apoptosis in PC12 cells through activation of glycogen synthase kinase-3beta. Toxicology 2010; 271 5-12.

26. Thimmaiah KN, Easton JB, Houghton PJ. Protection from Rapamycin-induced apoptosis by insulin-like growth factor-I is partially dependent on protein kinase C signaling. Cancer Res 2010; 70:2000-2009.

27. Qiu W, Leibowitz B, Zhang L, Yu J. Growth factors protect intestinal stem cells from radiation-induced apoptosis by suppressing PUMA through the PI3K/AKT/p53 axis. Oncogene 2010; 29: 1622-32.

28. Jamali R, Bao M, Arnqvist HJ. IGF-I but not insulin inhibits apoptosis at low concentration in vascular smooth muscl cells. J Endocrinol 2003; 179: 267-74.

29. Bridgewater DJ, Ho J, Sauro V, Matsell DG. Insulin-like growth factors inhibit podocyte apoptosis through the PI3 kinase pathway. Kidney Int 2005; 67:1308-14.

30. Thimmaiah KN, Easton J, Huang S, Veverka KA, Germain GS, Harwood FC, et al. Insulin-like growth factor I-mediated protection from rapamycin-induced apoptosis is independent of Ras-Erk1-Erk2 and phosphatidylinositol 3-kinase-Akt signaling pathways. Cancer Res 2003; 63: 364–74.

31. Novosyadlyy R, Kurshan N, Lann D, Vijayakumar A, Yakar S, LeRoith D. Insulin-like growth factor-I protects cells from ER stress-induced apoptosis via enhancement of the adaptive capacity of endoplasmic reticulum. Cell Death Differ 2008; 15:1304-17.

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]

32. Colón E, Zaman F, Axelson M, Larsson O, Carlsson-Skwirut C, Svechnikov KV, et al. Insulin-like growth factor-I is an important antiapoptotic factor for rat leydig cells during postnatal development. Endocrinology 2007; 148:128-39.

33. Massoner P, Ladurner-Rennau M, Ede I, Klocker H. Insulin-like growth factors and insulin control a multifunctional signalling network of significant importance in cancer. Br J Cancer 2010; 103: 1479-84.

34. Dunn SE, Hardman RA, Kari FW. Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) alters drug sensitivity of induced by diverse anticancer drugs HBL100 human breast cancer cells by inhibition of apoptosis. Cancer Res 1997; 57: 2687-93.

35. Garrouste F, Remacle-Bonnet M, Fauriat C, Marvaldi J, Luis J, Pommier G. Prevention of cytokine-induced apoptosis by insulin-like growth factor-I is independent of cell adhesion molecules in HT29-D4 colon carcinoma cells ± evidence for a NF-kB-dependent survival mechanism. Cell Death Differ 2002; 9: 768-79.

36. Delaney CL, Cheng H-L, Feldman EL. Insulin-like growth factor-I prevents caspase-mediated apoptosis in schwann cells. J Neurobiol 1999: 41: 540-49.

37. Xing C, Peng Y, Chang R, Yin Y, Zuoping X. Effects of insulin-like growth factor-1 on okadaic acid-induced apoptosis in SH-SY5Y cells. Cell Biol Int 2005; 29: 803-808.

38. Yang SY, Hoy M, Fuller B, Sales KM, Seifalian AM, Winslet MC. Pretreatment with insulin-like growth factor I protects skeletal muscle cells against oxidative damage via PI3K/Akt and ERK1/2 MAPK pathways. Laboratory Investigation 2010; 90:391-401.

39. Avila-Gomez IC, Velez-Pardo C, MarleneJimenez-Del-Rio. Effects of insulin-like growth factor-1 on rotenone-induced apoptosis in human lymphocyte cells. Basic Clin Pharmacol Toxicol 2009; 106: 53-61.

[Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2025-06-26]