تأثیر ویتامین C بر مقاومت دارویی 5-FU در سلول‌های سرطانی کولون HT29

آرزو زارعی[۱]، سعید قربیان*[۱]

۱) گروه ژنتیک مولکولی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۰

چکیده

مقدمه: امروزه، تحقیقات گسترده‌ای در استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌ها در کاهش آثار جانبی شیمی داروها و شکستن مقاومت سرطان نسبت به شیمی دارو در حال انجام است. هدف این مطالعه نیز، استفاده از ویتامین C به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت و تعیین تأثیر آن در مقاومت دارویی سلول‌های HT29 است.

مواد و روش‌ها: در طول این مطالعهٔ مورد_شاهدی، ابتدا سلول‌های HT29 کشت داده شدند و با استفاده از روش MTT assay، تکثیر سلولی و یا مرگ سلول‌ها در تیمار با ویتامین C و داروی 5-FU بررسی گردید؛ همچنین آزمون DAPI برای نشان دادن آپوپتوز سلولی صورت گرفت. پس از استخراج RNA و تهیهٔ cDNA، برای تعیین سازوکار مولکولی آپوپتوز توسط دارو و اثر مهارکنندگی و یا تشدید ویتامین C بر سیگنالینگ سلولی آپوپتوز، بیان ژن‌های مرتبط با رشد و آپوپتوز مارکرهای casp3, Bax به روش Real-time PCR سنجیده شد.

یافته‌های پژوهش: نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش MTT نشان داد که ویتامین C هیچ تأثیر معناداری ($P<0.05$) در کاهش اثر 5-FU در آپوپتوز سلول‌ها ندارد. نتایج دپی و DNA ladder assay به‌دست‌آمده از تیمار سلول‌های HT29 تغییرات کیفی آپوپتوز سلولی را نشان داد. علاوه بر این، نتایج Real-time PCR نشان داد افزایش معناداری در بیان ژن Bax و Casp3 بر سلول‌های سرطانی کولون HT29 در تیمار با شیمی دارو وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان داد ویتامین C مانع تأثیر شیمی دارو نشد، اگرچه هیچ تأثیر مثبتی هم بر روی رشد سلول‌های سرطانی نداشت؛ بنابراین، مصرف ویتامین C از سوی بیمارانی که در حال شیمی‌درمانی هستند، هیچ ممانعتی بر تأثیر دارو نخواهد داشت و می‌تواند بیمار را از آثار جانبی دارو محافظت کند.

واژه‌های کلیدی: سرطان کلورکتال، ویتامین C، آپوپتوز، شیمی دارو 5-FU، HT29

* **نویسندهٔ مسئول:** گروه ژنتیک مولکولی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران

Email: ghorbian20@yahoo.com

Copyright © 2019 Journal of Ilam University of Medical Science. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution international 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material, in any medium or format, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]

[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

مقدمه

سرطان کولورکتال یکی از عوامل شایع مرگ‌ومیر در جهان است (۲، ۱). سرطان رودۀ بزرگ، سومین سرطان شایع در دنیا اشت (۳) و در حال حاضر، سالانه حدود ۱/۲ میلیون مورد جدید سرطان در ایالات‌متحده آمریکا تشخیص داده می‌شود و هرسال، این بیماری جان حدود ۶۰۰ هزار نفر را می‌گیرد (۴). عوامل مؤثر بر تغییرات در میزان بروز و بقای بیماران را می‌توان به دو صورت قابل اصلاح و غیرقابل اصلاح تقسیم کرد (۶، ۵).

عوامل قابل اصلاح شامل چاقی، رژیم غذایی دربرگیرندۀ گوشت قرمز، مصرف سبزی‌ها (۸، ۷)، مصرف الکل، دخانیات و فعالیت فیزیکی اندک (۹) و عوامل خطر غیرقابل اصلاح شامل سن بالای ۶۵ سال، سابقۀ فامیلی، بیماری‌های التهابی روده و پولیپ‌های آدنوماتوی فامیلی است (10). با قاطعیت نمی‌توان دربارۀ اپیدومیولوژی سرطان قضاوت کرد؛ اما بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی، سرطان کولون سومین سرطان شایع در مردان و دومین سرطان رایج در زنان، در سال ۲۰۱۶ بوده است (۳). میزان زنده ماندن افراد دارای متاستاز سرطان کولون به مدت ۵ سال است، به‌طوری‌که این بیماران به داروهای ضدسرطان نیز مقاومت پیدا می‌کنند (11). آنتی‌متابولیت *5-FU* فعال‌ترین دارو در برابر این بدخیمی است. *5-FU* یک آنالوگ یوراسیل با یک اتم فلورین است که در جایگاه *C-5* به‌جای هیدروژن قرار دارد (12). در سرطان پیشرفتۀ کولون، درمان با *5-FU* مدولاسیون‌شده با اسیدفولیک، میزان پاسخ ۲۰–۲۵ درصد و میانگین زنده ماندن ۱۱ ماه است. اخیراً اثبات‌شده است که داروهای بیولوژیکی جدید مانند آنتی‌بادی‌های مونوکلونال (آنزیم مهارکنندۀ فاکتور رشد اپیدرمی) و بواسیزوماب (یک مهارکنندۀ فاکتور رشد اندوتلیال عروقی)، مزایای بالینی بالاتری برای بیماران مبتلا به سرطان متاستاتیک کلورکتال دارند (13)؛ اما مسیرهای سیگنالینگ مولکولی که پاسخ به این عوامل را تنظیم می‌کنند، به‌وضوح مشخص نیستند؛ همچنین نقش ویتامین‌های آنتی‌اکسیدان در درمان سرطان با استفاده از سلول‌های تومور در کشت و بیماران مبتلا به تومورهای خاص مطالعه شده‌اند؛ اما این نتایج پراکنده‌اند و هیچ فرضیه‌ای برای توضیح سازوکارهای این ویتامین‌ها در شرایط *in vivo* یا *in vitro* در درمان سرطان ارائه نشده است.

ژن *Bax* یکی از ژن‌هایی است که در مرگ برنامه‌ریزی‌شدۀ سلول نقش دارد. رخدادهای مشترک جهش‌های حرکتی در ژن *Bax* در سرطان کولون و سرطان معده نشان می‌دهد که غیرفعال کردن *Bax* در برخی تومورها ممکن است با پیشرفت فرایند آپوپتوز، به پیشرفت تومور کمک کند. این فرضیه توسط اثر کاهش بیان *Bax* در بعضی از دستگاه‌ها پشتیبانی می‌شود. بااین‌حال، اهمیت عملکرد این جهش در پیشرفت تومور مشخص نشده است (14). کاسپازها نیز واسطه‌های حیاتی مرگ برنامه‌ریزی‌شدۀ سلول‌ها هستند؛ ازجمله آن‌ها می‌توان به کاسپاز ۳ اشاره کرد که به‌طور ویژه‌ای باعث تجزیۀ پروتئین‌های کلیدی سلولی می‌شود. بااین‌حال، اطلاعات خاصی از این کاسپازها در آپوپتوز تاکنون تا حد فراوانی ناشناخته باقی‌مانده است. کاسپاز ۳ برای رشد طبیعی مغز ضروری است و در سایر سناریوهای آپوپتوز در یک شیوۀ خاص بافت، نوع سلولی و یا نوع خاصی از تحریکات مرگ‌ومیر، مهم و ضروری است (15).

مواد و روش‌ها

در این مطالعۀ مورد– شاهدی، سلول‌های سرطانی HT29 تهیه‌شده از مرکز کلکسیون سلولی پاستور ایران، در داخل فلاسک‌های سلولی و در محیط کشت کامل RPMI 1640 کشت گردیدند. پس از رشد با ازدحام بالای ۹۰ درصد تریپسینه شدند و به تعداد ده هزار سلول در هر چاهک پلیت ۹۶ تایی، به مدت ۲۴ ساعت کشت گردیدند. تیمار با شیمی دارویی *5-FU* با غلظت‌های مختلف صورت گرفت و IC_{50} شیمی دارو و میزان مقاومت سلول‌ها با استفاده از روش MTT در ساعت‌های مختلف اندازه‌گیری شد؛ سپس سلول‌ها در پلیت‌های ۶ تایی کشت داده شدند و تیمار شیمی دارو و اسید آسکوربیک انجام گردید و با استفاده از DAPI سلول‌ها رنگ‌آمیزی شد و میزان آپوپتوز و نقش ویتامین سی در جلوگیری و یا تشدید آن مطالعه گردید. پس از آن، برای مطالعۀ سازوکار مولکولی و نیز ژن‌های درگیر در آن، استخراج RNA از سلول‌های سرطانی HT29 صورت گرفت و سنتز cDNA تک‌رشته‌ای با استفاده از آنزیم MMLV طبق پروتکل‌های موجود انجام شد. به‌منظور انجام Real time PCR

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

طراحی پرایمرهای بر روی ژن‌های مرتبط صورت گرفت. واکنش Real time PCR به‌صورت تکرارهای ۳ تایی (triplet) انجام گردید.

روش کار با ردهٔ سلولی *HT29*: در این پروژه، ردهٔ سلولی آدنوکارسینوم کولون انسانی *HT-29* (*human colon adenocarcinoma grade II*) از انستیتوی پاستور تهیه شد. سلول‌ها در داخل فلاسک حاوی ۹۰ سی‌سی محیط کشت *RPMI1640* غنی‌شده با ۱۰ درصد سرم جنین گاوی *Fetal (Bovine (Serum-FBS*، ۱۰۰ ماکرولیتر آنتی‌بیوتیک (*penicillin 0.1 µg/µL and streptomycin 0.1 µg/µL)*)، در انکوباتور در شرایط دمای ۳۷درجهٔ سانتی‌گراد و دی‌اکسید کربن ۵ درصد کشت گردید. پس از یک شبانه‌روز، محیط کشت سلول‌ها دور ریخته و با *PBS* شستشو داده و محیط کشت تازه به آن افزوده شد و دوباره در انکوباتور قرار گرفت و پس از ۴۸ ساعت، سلول‌ها پاساژ داده شدند.

بررسی توکسیستی شیمی داروی *5-FU* بر روی سلول‌های سرطانی: برای بررسی تأثیر شیمی دارو بر روی سلول‌های*HT29*، ابتدا زمانی که سلول‌ها به تراکم حدود ۸۰ درصد در *T* فلاسک کشت سلولی رسیدند، توسط تریپسین/ *EDTA* نیم درصد از سطح *T* فلاسک جدا گردیدند و به هر چاهک پلیت ۹۶ خانه، حدود ۱۰ هزار سلول *HT29* اضافه شد و برای رشد بهینهٔ سلول‌ها، داخل انکوباتور نگه‌داری گردید تا اینکه سلول‌ها به سطح فلاسک متصل شوند و رشد کنند. پس اینکه سلول‌ها۴۰ تا ۵۰ درصد چاهک را پر کردند، به تخلیهٔ محیط کشت هر چاهک اقدام می‌شود و غلظت‌های مختلف دارو داخل محیط کشت تازه به چاهک‌ها افزوده می‌گردد. باید توجه داشت برای هر غلظت، دست‌کم ۳ تکرار انجام گیرد؛ سپس پلیت‌های ۹۶ خانه به مدت زمان مختلف انکوبه شد و میزان زنده ماندن سلول‌های *HT29* پس هر زمان انکوباسیون، به شیوهٔ *MTT assay* مورد سنجش قرار گرفت. برای تهیهٔ محلول *MTT*، به ازای هر ۱ میلی‌لیتر حجم، ۰/۵ میلی‌گرم پودر *MTT* در بافر *PBS* حل و با محیط کشت به حجم رسانده شد.

بررسی الگوی شکست نردبانی *DNA* (*DNA Ladder assay*): قطعه‌قطعه شدن *DNA* کروماتینی یکی از نشانه‌های وقوع مرگ سلولی است. در مرگ ناگهانی سلول (نکروز)، *DNA* بدون نظم مشخص و به‌صورت اتفاقی از نقاط مختلف شکسته می‌شود، درحالی‌که در مراحل انتهایی فرایند آپاپتوز، بر اثر فعال شدن آنزیم‌های آندونوکلئاز درونی مانند (*CAD/CPAN/DFF40*) به‌وسیلهٔ کاسپازها، *DNA* کروموزومی از نواحی میان نوکلئوزومی بریده و قطعات یک و یا چند نوکلئوزومی ایجاد می‌گردد. قطعات به‌دست‌آمده پس از تفکیک به‌وسیلهٔ الکتروفورز بر روی ژل آگارز، الگوی مشخص نردبانی ایجاد می‌کنند که به‌راحتی از الگوی پیوستهٔ *DNA* در سلول‌های نکروزی قابل‌تفکیک است؛ بنابراین، سلول‌های تیمارشده با دارو و ویتامین، به‌منظور تشخیص آپوپتوز سلولی و قطعه‌قطعه شدن *DNA* الکتروفورز گردیدند.

کشت سلول‌ها و تیمار آن‌ها: سلول‌های *HT29* به تعداد ۵۰ هزارتا در محیط کشت *RPMI1640* کامل داخل هر چاهک پلیت‌های ۶ خانهٔ ویژهٔ محیط کشت، کشت و تکثیر داده شد. پس از یک روز که تعداد سلول‌ها ۲ برابر گردید، سلول‌ها با شیمی دارو و ویتامین سی تیمار شدند. پس از فواصل زمانی مختلف، استخراج *RNA* از سلول‌های سرطانی *HT29* تیمارشده انجام گرفت؛ سپس سلول‌ها به روشی که ذیل توضیح داده می‌شود، برای استخراج *RNA* و سنتز *cDNA* استفاده گردیدند.

سنتز *cDNA* تک‌رشته‌ای با استفاده از آنزیم *MMLV* طبق پروتکل، شامل ۱ میکروگرم از *total RNA* که با *0.2* ماکرومولار هگزامر پرایمرهای *universal* رونویسی معکوس می‌شود و یک ماکرولیتر *(10mM) dNTP* و آب *DEPC* مخلوط و با حرارت ۶۵ درجه به مدت ۵ دقیقه انکوبه می‌کنیم؛ سپس روی یخ قرار می‌دهیم و پس از آن، ۵ یونیت آنزیم *RT* (*MMLV*)، بافر *(1x buffer for MMLV RT)*، یک یونیت بر ماکرولیتر مهارگر *RNase* را می‌افزاییم و درواقع، در انتها حجم کلی هر تیوب باید ۲۰ ماکرولیتر شود. پس از آن، تیوب‌ها را در دستگاه *PCR* می‌گذاریم و به دستگاه این برنامهٔ ۱۰ دقیقه ۲۵ درجه، ۶۰ دقیقه ۴۲ درجه و ۱۰ دقیقه ۷۲ درجه را می‌دهیم تا *cDNA*ها سنتز شوند. پرایمرهای استفاده‌شده توسط وب‌سایت *NCBI* (www.ncbi.nlm.nih.gov) استخراج گردیدند که اطلاعات آن‌ها در جدول ذیل موجود است (جدول شمارهٔ ۱). همهٔ پرایمرها توسط شرکت تکاپو زیست سنتز شدند.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

جدول شمارهٔ ۱. پرایمرهای استفاده‌شده در مطالعه

نام ژن	Tm(oC)	توالی پرایمر
Casp3	134	5’-TGCCTGTAACTTGAGAGTAGATGG -3’ 5’-CTTCACTTTCTTACTTGGCGA TGG -3’
BAX	176	5′-ATCCAGGATCGAGCAGGGCG -3′ 5′GGTTCTGATCAGTTCCGGCA -3′
GAPDH	68	F: 5 -AAGCTCATTTCCTGGTATGACAACG -3 R: 5- TCTTCCTCTTGTGCTCTTGCTGG -5

Real-time quantitative-PCR: واکنش Real time PCR به‌صورت تکرارهای ۳ تایی (triplet) صورت گرفت، بدین صورت که در تیوب‌های مخصوص Real time PCR، ۱ ماکرولیتر cDNA و ۱۹ ماکرولیتر مستر میکس حاوی ۱ ماکرولیتر پرایمرهای فوروارد (*0.2* ماکرومولار)، ۱ماکرولیتر پرایمر ریورز (*0.2* ماکرومولار)، ۷ ماکرولیتر DEPC و ۱۰ ماکرولیتر Mastermix 1x Real tim می‌ریزیم، حجم نهایی باید ۲۰ ماکرولیتر شود؛ سپس تیوب‌ها را در دستگاه Real time PCR قرار می‌دهیم و دستگاه run می‌شود.

جدول شمارهٔ ۲. ترکیبات موردنیاز برای انجام qPCR

ترکیبات واکنش (۲۰ میکرولیتر)	مقدار
آب تیمارشده با DEPC	7µl
Mastermix 2x Real time	10µl
cDNA(1µg/µl)	1µl
پرایمرهای Forward	0.05µM
پرایمرهای Reverse	0.05µM

جدول شمارهٔ ۳. برنامهٔ ترموسایکلر

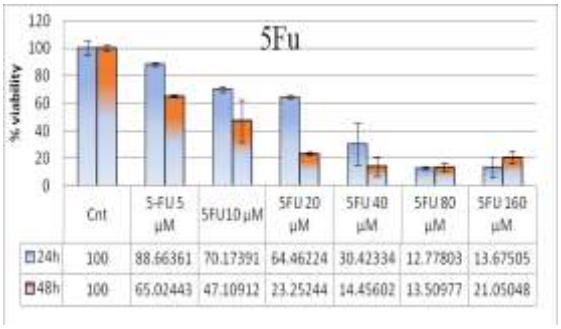
مرحله	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان	تعداد سیکل
فعال‌سازی اولیه	۹۴	۱۰ دقیقه	۱
جداسازی	۹۴	۱۵ ثانیه	۴۰
اتصال	۶۳–۶۰–۵۹	۳۰ ثانیه	
طویل‌سازی	۷۲	۲۵ ثانیه	
طویل‌سازی نهایی	۷۲	۵ دقیقه	۱

تحلیل آماری: تعیین سیکل آستانهٔ CT برای هرکدام از نمونه‌ها صورت پذیرفت. میزان بیان در هر نمونه برای ژن‌های CASP3/bax و استفاده از مقادیر CT محاسبه گردید. در نمونه‌های تیمارشده نسبت به نمونهٔ کنترل که به‌وسیلهٔ میزان بیان ژن GAPDH نرمالایزه شده، با استفاده از فرمول $2^{--\Delta\Delta Ct}$ محاسبات انجام گردید.

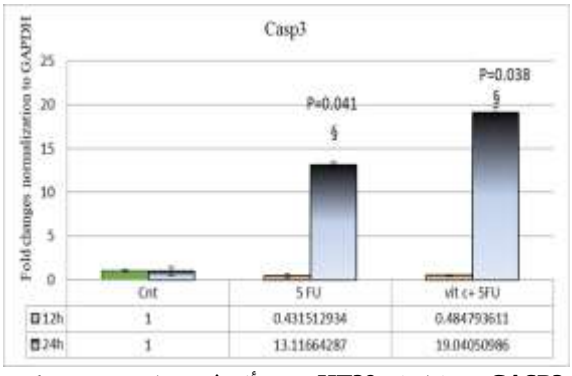
یافته‌های پژوهش

با وجود پتانسیل بالای شیمی داروی 5-fluorouracil (5-FU) در درمان سرطان کلورکتال، در برخی مواقع همراه با مقاومت به دارو است. مقاومت به شیمی‌درمانی 5-FU علت اصلی ناکارآمدی در درمان سرطان کولون است. توسعهٔ روش‌های درمانی ترکیبی مانند استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌ها و ویتامین‌ها راهبرد مؤثری برای مهار سلول‌های سرطانی و جلوگیری از بروز مقاومت در برابر دارو است. نتایج نشان داد شیمی داروی 5-FU می‌تواند سبب آپوپتوز سلول‌های سرطانی شود؛ اما ویتامین C تأثیری در افزایش و یا کاهش تأثیر شیمی دارو نداشت و بنابراین، مصرف ویتامین c به‌منظور جلوگیری از آثار جانبی شیمی دارو بر بیماران سرطانی، تأثیر منفی در روند درمان سرطان نخواهد داشت.

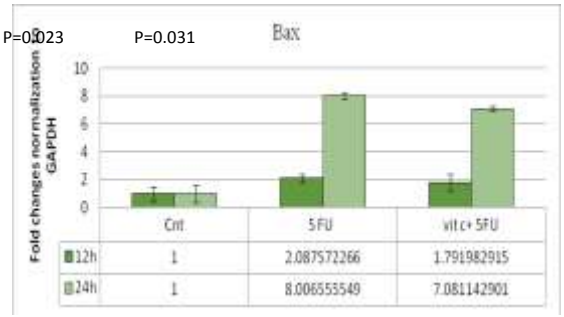
[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]



شکل شمارۀ1. نمودار اثر شیمی دارو بر روی حیات سلولی پس از ساعت‌های مختلف انکوباسیون. سلول‌های HT29 تحت تأثیر غلظت‌های مختلف شیمی دارو قرار گرفتند. گفتنی است طی مدت۴۸ ساعت انکوبه شدن سلول‌های HT29 با شیمی دارو میزان IC_{50} با غلظت ۱۰ ماکرومولار (حدود ۴۷ درصد) و در مدت ۲۴ ساعت حدود ۳۰ ماکرومولار انتخاب شد.



شکل شمارۀ .2 نمودار میزان بیان ژن CASP3 در سلول‌های HT29 تحت تأثیر شیمی دارو به‌صورت تکی به مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت تیمار و میزان تغییرات بیان ژن در HT29 به روش Real time PCR سنجیده شد. همۀ آزمایش‌ها سه بار تکرار گردید و $P<0.05$ معنادار در نظر گرفته شد.



شکل شمارۀ 3. نمودار میزان بیان ژن Bax در سلول‌های HT29 تحت تأثیر شیمی داروی سلول‌های HT29. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، ویتامین C هیچ تأثیری در میزان بیان ژن توسط دارو نداشته است. $P<0.05$ معنادار در نظر گرفته شد.

بحث و نتیجه‌گیری

بسیاری از سرطان‌ها طی درمان با داروهای شیمی‌درمانی، نسبت به آثار درمانی داروی مصرفی مقاوم می‌شوند. سازوکارهای مختلفی در ارتباط با مقاومت دارویی پیشنهادشده است. یکی از مهم‌ترین علل مقاومت به دارو، بیان بالای پروتئین‌های غشایی وابسته به ATP از دستۀ خانوادۀ بزرگ ناقلین غشایی (ATP Binding Cassette) ABCاست. از این خانواده، ناقل غشایی با وزن مولکولی KDa170با نام گلیکوپروتئین P، نقش مهمی را در مقاومت دارویی بر عهده دارد (16). دیگر پروتئین‌های غشایی از خانوادۀ MRP (Multidrug Resistance associated Protein) نیز، در مقاومت دارویی دخیل هستند. پروتئین‌های ABC در سلول‌های طبیعی نیز بیان می‌شوند (17). پروتئین‌های یادشده وظیفۀ نقل‌وانتقال سوبستراهای آندوژن را بر عهده دارند. بیان بالای این پروتئین‌ها در سلول‌های سرطانی، مهم‌ترین مانع بر سر راه درمان سرطان به‌شمار می‌رود. بنا به نتایج در طول ۲۰ سال گذشته، افزایش درک سازوکار عمل 5-FU به توسعه

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

استراتژی‌هایی منجر شده است که فعالیت ضد سرطانی را افزایش می‌دهد. علی‌رغم این پیشرفت‌ها، مقاومت دارویی محدودیت چشمگیری برای استفادهٔ بالینی از 5-FU است.

شیوع این سرطان در گروه‌های نژادی مختلف، متفاوت است و نیز سن، رژیم غذایی، سابقهٔ خانوادگی افراد، سیگار کشیدن، مصرف الکل، کم‌تحرکی و چاقی از عوامل مستعدکنندهٔ آن هستند؛ همچنین ژنتیک در ایجاد و پیشگیری سرطان نقش بسیار مهمی دارد. ژن‌های Bax و Casp3 ازجمله ژن‌های مهمی هستند که در این مطالعه بررسی‌شده‌اند که یک آنزیم کلیدی در اجرای آپوپتوز به‌شمار می‌روند. این آنزیم متعلق به خانوادهٔ کاسپاز (از پروتئاز آسپارتات سیستئین) است که یکی از شش خانوادهٔ پروتئاز است که توابع مهمی در توسعهٔ عصبی طبیعی و نوروپاتولوژی دارند. کاسپازها آندوپروتئازهایی هستند که واسطهٔ برخی از اشکال مرگ برنامه‌ریزی‌شدهٔ سلول عصبی (PCD) مانند آپوپتوز و پیروپتوزند که به ترتیب وابسته به کاسپاز ۳ و کاسپاز ۱ هستند. در طول توسعهٔ عصبی، فرایند PCD اتفاق می‌افتد (18) که توسط آن، نورون‌هایی که بیش‌ازحد تولید می‌شوند، از بافت خارج می‌گردند تا مغز و نخاع بالغ را جدا کنند. PCD ممکن است وابسته به فعال شدن کاسپازها باشد؛ کاسپاز ۳ که بر روی آن همگرایی مسیرهای آپوپتوز درونی و بیرونی، وجود عامل اصلی آپوپتوز است. در میان انواع مختلف نورون‌ها و گلیا در مخچه، شواهد کافی برای مداخلهٔ کاسپاز ۳ در تنظیم سلول‌های گرانول مخچه پس از میتوز (CGCs) و نورون‌های Purkinje وجود دارد؛ همچنین CGCها در مرحلهٔ تمایز پیش‌ساز/پیش از مهاجرت، بدون دخالت کاسپاز ۳، در معرض مرگ سلول اولیه قرار می‌گیرند (19).

Bax یکی از اعضای اصلی خانوادهٔ پروتئین *Bcl-2* است. این پروتئین‌های کوچک (۳۰-۲۰ کیلو دالتون) عملکردهای ضد پروآپوپتوتیک دارند. پروتئین‌های پروآپوپتوتیک، *Bax*، *Bak* و *Bid*، با محرک‌های آپوپتوز به میتوکندری منتقل می‌شوند (20). خانوادهٔ ژن *Bcl-2* در مسیر آپوپتوز، با واسطهٔ میتوکندری عملکردهای مهمی را انجام می‌دهند. در این خانواده، برخی از اعضا آثار مهاری در آپوپتوز را نشان می‌دهند، درحالی‌که سایرین مانند *Bax* سبب افزایش آپوپتوز می‌شوند. *Bax* معمولاً در سیتوپلاسم قرار دارد. به‌محض دریافت سیگنال آپوپتوز، *Bax* تحت عمل الیگومریک شدن قرار می‌گیرد و به غشای میتوکندری منتقل می‌شود که متعاقباً به انتشار سیتوکروم *C* و سایر فاکتورهای آپوپتوز در داخل سیتوپلاسم منجر می‌گردد (21). سیتوکروم *C* ترکیبی از پروتئاز آپوپتوز فعال‌کنندهٔ فاکتور-۱ و طرفدار کاسپاز ۹ که به‌صورت آپوپتوزوم تشکیل می‌شوند، به فعال شدن کاسپاز ۹ و کاسپاز ۳ منجر می‌گردد. مطالعات پیشین گزارش داده‌اند که کمبود *Bax* ممکن است با جلوگیری از جابجایی باکس به میتوکندری باعث شود که سلول‌های سرطانی نسبت به داروهای ضد توموری غیرحساس گردند.

طبق مطالعات چبی و همکاران در سال ۲۰۱۹، مقاومت به شیمی‌درمانی *5-FU* علت اصلی نارسایی در درمان سرطان کولون است. توسعهٔ روش‌های درمانی ترکیبی راهبرد مؤثری برای مهار سلول‌های سرطانی و جلوگیری از ظهور مقاومت در برابر دارو است (22)؛ بنابراین، تحقیقات فراوانی برای مهار مقاومت دارویی کولون کنسر به شیمی داروی *5-FU* انجام می‌شود. استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌ها ازجملهٔ این استراتژی‌ها است که در این مقاله نیز، از آنتی‌اکسیدانت‌ها به‌منظور غلبه بر مقاومت دارویی و افزایش کارایی دارو استفاده شد. با وجود اینکه بسیاری از دانشمندان معتقدند آنتی‌اکسیدانت‌ها اثر شیمی دارو را از میان می‌برند؛ اما برخی دیگر اعتقاد دارند استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌ها همراه با شیمی‌درمانی، از دو طریق باعث موفقیت شیمی‌درمانی خواهد شد: یکی از راه خنثی کردن آثار جانبی شیمی دارو و دیگری از راه کاهش مقاومت به شیمی دارو. با وجود این، *5-FU* یک داروی بسیار خوب است و به‌منظور شکستن مقاومت علیه آن بهتر است کامبینیشن‌تراپی به همراه سایر مکمل‌ها و آنتی‌اکسیدانت‌ها انجام پذیرد. توسعهٔ روش‌های درمانی ترکیبی راهبرد مؤثری برای مهار سلول‌های سرطانی و جلوگیری از ظهور مقاومت در برابر دارو است (22).

دانیل و همکاران در سال ۲۰۰۳، به‌طور گسترده‌ای دربارهٔ درمان سرطان با *5-FU*، حدود بیست سال مطالعه کردند. آنان بیان نمودند با وجود اینکه ۵ فلوروراسیل بهترین شیمی دارو برای درمان سرطان کلورکتال است؛ اما متأسفانه مقاومت دارویی کاربران را محدود می‌کند (23). فناوری‌های در حال ظهور، مانند پروفایل‌های میکرو اورگانی *DNA*، قادر به شناسایی ژن‌های جدیدی هستند

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

که در میانجی‌گری مقاومت به *5-FU* دخیل‌اند. چنین ژن‌های هدفی ممکن است به‌عنوان هدف جدید برای شیمی‌درمانی ارزشمند باشند (24). میشل و همکاران در سال ۱۹۸۹، در *Mayoclinic* و *North Central Cancer Treatment Group* (NCCTG)، یک کارآزمایی بالینی تصادفی را با مقایسهٔ ۵ رژیم شیمی‌درمانی، ترکیبی مختلف با یک فاکتور *5-FU* به روش تزریق داخل وریدی (۵۰۰ میلی‌گرم در مترمربع به مدت ۵ روز) به‌عنوان یک کنترل، در درمان سرطان پیشرفتهٔ کولورکتال انجام دادند. در ۱۳۸ بیماری که *5-FU* دریافت کرده بودند، یک مورد مرگ ناشی از درمان وجود داشت. متوسط بقای کلی در بیماران با تزریق 5-FU، یک سال افزایش یافته است (25). *سالمنگو* و همکاران در مطالعه‌ای نشان دادند که بیانات ژنی بالا (سطوح mRNA)، تمیدین سنتتازو تمیدین فسفریلاز در بیوپسی تومور پیش از درمان می‌تواند تومورهایی را شناسایی کند که به درمان مبتنی بر 5-FU واکنش نشان نمی‌دهند؛ همچنین در این مطالعه، ارتباط میان بیان ژن اینتراتومورال دی هیدروپیریمیدین دهیدروژناز (PDP) آنزیم کاتابولیسم پیریمیدین و پاسخ تومورهای کولورکتال به همان پروتکل مبتنی بر 5-FU بررسی شد (26). *پولارکات* و همکاران، سطح Ts mRNA را با استفاده از RT-PCR تجزیه‌وتحلیل کردند. آنان ۵۰ بیمار مبتلا به سرطان کولورکتال را که درمان 5-FU دریافت نمودند، برای تعیین اینکه آیا پلی‌مورفیسم TS نتایج بالینی را پیش‌بینی می‌کند، آزمایش کردند. داده‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ پلی‌مورفیسم TS ممکن است پدیده‌ای را به‌منظور شناسایی بیماران برای پاسخ به شیمی‌درمانی 5-FU داشته باشد (27). *خالد* جبور و همکاران *5-FU* را در سرطان بررسی کردند. ۶۶ بیمار که واجد شرایط سایر اقدامات درمانی نبودند (عمدتاً به علت شیمی‌درمانی پیشرفته و وضعیت عملکرد ضعیف ثبت‌شده بودند)، در معرض *5-FU* قرار گرفتند. مدت‌زمان متوسط درمان *5-FU*، ۶۵ روز بود. در این روند یک بیمار به‌طور کامل از بین رفت (28). *آربوک* و همکاران نتایج به‌دست‌آمده در *5-FU* و لووکورین برای درمان کارسینوم پیشرفته و درمان‌نشدهٔ کولورکتال را بررسی کردند. پاسخ‌های کامل با هریک از درمان‌ها در ۰ تا ۸ درصد از بیماران تحت درمان قرار گرفتند. در دو مطالعه، درمان طولانی‌مدت با *5-FU* و بقای متوسط، به مدت ۳تا ۶ ماه بود. شدت دوز برنامه‌ریزی‌شده برای یک عامل *5-FU* بین ۴۶۳ تا ۷۶۰ میلی‌گرم در مترمربع در هفته بود. بااین‌حال، دوزهای پایین‌تر از *5-FU*، هنگامی‌که با LV ترکیب‌شده بودند، میزان پاسخ بیشتری نسبت به *5-FU*داشتند (29).

با مطالعهٔ پیشینهٔ تحقیقات استنباط می‌شود که داروی *5-FU* یک دارو با پتانسیل بالا است؛ اما استراتژی‌هایی برای جلوگیری از مقاومت سرطان نسبت به این دارو نیاز است. یکی از استراتژی‌های کاهش مقاومت به این شیمی دارو می‌تواند استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌هایی مانند ویتامین *C* باشد. خانم ایلقمی و همکاران در سال ۲۰۱۹، استفاده از آنتی‌اکسیدانت‌ها مانند ویتامین *C* را با بررسی سامانمند مطالعات کلینیکال ترایل گزارش کرده‌اند که هرگز مصرف آنتی‌اکسیدانت‌ها و ویتامین *C* مانعی بر تأثیر شیمی دارو نیست (30). تأثیر تجویز هم‌زمان ویتامین *C* به همراه شیمی داروی 5-FU در سرطان‌های دیگری مانند لنفومای خونی نیز که *Nagy* و همکاران در سال ۲۰۰۳ انجام دادند، نشان می‌دهد ویتامین C نه‌تنها مانع تأثیر دارو نشده است، بلکه از آثار جانبی شیمی دارو نیز محافظت کرده است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات با نتایج این مقاله مطابقت داشت. اگرچه مطالعات دیگری نیز از تأثیر نداشتن آن گزارش می‌کنند که با نتایج ما متفاوت به‌نظر می‌رسد. نتایج ما نشان داد ویتامین C تأثیر منفی در روند تیمار با دارو نشان نمی‌دهد؛ اما می‌توان در کاهش آثار جانبی دارو مؤثر باشد.

هدف ما بررسی احتمال تأثیر منفی و یا مثبت ویتامین C بر سلول‌های سرطان کولون بود. مطالعهٔ حاضر نشان داد که شیمی دارو می‌تواند سرطان کلورکتال را با تأثیر بر سیگنالینگ سلولی آپوپتوز تحت تأثیر قرار دهد. میزان بیان ژن *Casp3* در سلول‌های *HT29* تحت تأثیر شیمی دارو با غلظت‌های IC_{50}، به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت تیمار شدن دو میزان تغییرات بیان ژن *HT29* به روش *Real time PCR* سنجیده شد. همان‌طور که نتایج نشان داد، شیمی دارو توانسته بود میزان ژن *Bax* و *casp3* را افزایش دهد که یک پرواپوپتوز هستند. با وجود این، ویتامین C برخلاف یافته‌های موجود که گزارش کرده‌اند ممکن است اثر منفی در تأثیر دارو بر سرطان داشته باشد،

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

در این مطالعه هیچ تأثیری در کاهش و یا افزایش تأثیر دارو نداشت.

یافته‌ها نشان داد ویتامین C مانع تأثیر شیمی دارو نشد، اگرچه هیچ تأثیر مثبتی هم بر روی رشد سلول‌های سرطانی نداشت؛ بنابراین، مصرف ویتامین C از سوی بیمارانی که در حال شیمی‌درمانی هستند، هیچ ممانعتی بر تأثیر دارو نخواهد داشت و می‌تواند در برابر آثار جانبی دارو، از بیمار محافظت کند.

سپاس‌گزاری

هزینه انجام این پژوهش توسط دانشجوی کارشناسی ارشد رشته ژنتیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر با کد مصوب ۹۷۱۰۰۹، تأمین شده است. بدینوسیله از همه افراد شرکت کننده در مطالعه حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Mccracken M, Olsen M, Chen JRMS, Jemal A, Thun M, Cokkinides V, et al. Cancer incidence mortality and associated risk factors among Asian and Americans of Chinese and Filipino and Vietnamese and Korean and Japanese ethnicities. Cancer J Clin 2007; 57:190-205. doi.10.3322/canjclin.57.4.190

2. Weir HK, Thun MJ, Hankey BF, Ries LA, Howe HL, Wingo PA, et al. Annual report to the nation on the status of cancer 1975–2000 featuring the uses of surveillance data for cancer prevention and control. J National Cancer Inst 2003; 95:1276-99. doi.10.1093/jnci/djg040

3. Carini F, Mazzola M, Rappa F, Jurjus A, Geagea AG, Al Kattar S, et al. Colorectal carcinogenesis role of oxidative stress and antioxidants. Anticancer Res2017; 37:4759-66. doi.10.21873/anticanres.11882

4. Curtin JC. Novel drug discovery opportunities for colorectal cancer. Exp Opin Drug Dis2013; 8:1153-64. doi.10.1517/17460441.2013.807249

5. Berrino F, Krogh V, Riboli E. Epidemiology studies on diet and cancer. Tumori J 2003; 89:581-5. doi.10.1177/030089160308900601

6. Willett WC, Stampfer MJ, Colditz GA, Rosner BA, Speizer FE. Relation of meat, fat, and fiber intake to the risk of colon cancer in a prospective study among Women. New Eng J Med 1990; 323:1664-72. doi.10.1056/NEJM199012133232404

7. Key TJ, Allen NE, Spencer EA, Travis RC. The effect of diet on risk of cancer. Lancet 2002; 360:861-8. doi.10.1016/S0140-6736(02)09958-0

8. Manerio E, Rodas VL, Costas E, Hernandez JM. Shellfish consumption a major risk factor for colorectal cancer. Med Hyp 2008;70:409-12. doi.10.1016/j.mehy.2007.03.041

9. Kelsall HL, Baglietto L, Muller D, Haydon AM, English DR, Giles GG. The effect of socioeconomic status on survival from colorectal cancer in the Melbourne collaborative cohort study.Soc Sci Medi2009; 68:290-7. doi.10.1016/j.socscimed.2008.09.070

10. Antelo M, Castells A. Family history of colorectal cancer a new survival predictor of colon cancer? Gastroenterology 2009; 136:357-9. doi.10.1053/j.gastro.2008.11.059

11. Dahan L, Sadok A, Formento JL, Seitz JF, Kovacic H. Modulation of cellular redox state underlies antagonism between oxaliplatin and cetuximab in human colorectal cancer cell lines. Brit J Pharmacol 2009; 158:610-20. doi.10.1111/j.1476-5381.2009.00341.x

12. Wohlhueter RM, McIvor RS, Plagemann PG. Facilitated transport of uracil and 5-fluorouracil, and permeation of orotic acid into cultured mammalian cells. J Cell Physiol 1980; 104:309-19. doi.10.1002/jcp.1041040305

13. Cunningham D, Humblet Y, Siena S, Khayat D, Bleiberg H, Santoro A, et al. Cetuximabmonotherapy and cetuximab plus irinotecan in irinotecan refractory metastatic colorectal cancer. New Eng J Med2004; 351:337-45. doi.10.1056/NEJMoa033025

14. Ionov Y, Yamamoto H, Krajewski S, Reed JC, Perucho M. Mutational inactivation of the proapoptotic gene bax confers selective advantage during tumor clonal evolution. Proce National Acad Sci2000; 97:10872-7. doi.10.1073/pnas.190210897

15. Porter AG, Janicke RU. Emerging roles of caspase3 in apoptosis. Cell Death Dif1999; 699.

16. Chikazawa N, Tanaka H, Tasaka T, Nakamura M, Tanaka M, Onishi H, et al. Inhibition of Wnt signaling pathway decreases chemotherapy resistant side population colon cancer cells. Anticancer Res2010; 30:2041-8.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]

[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

17. Maemondo M, Inoue A, Kobayashi K, Sugawara S, Oizumi S, Isobe H, et al. Gefitinib or chemotherapy for non small cell lung cancer with mutated EGFR. New Eng J Med2010; 362:2380-8. doi.10.1056/NEJMoa0909530

18. Kothakota S, Azuma T, Reinhard C, Klippel A, Tang J, Chu K, et al. Caspase3 generated fragment of gelsolin effector of morphological change in apoptosis. Science 1997; 278:294-8. doi.10.1126/science.278.5336.294

19. Zou H, Henzel WJ, Liu X, Lutschg A, Wang X. Apaf-1 a human protein homologous to elegans CED4 participates in cytochrome dependent activation of caspase3. Cell 1997; 90:405-13. doi.10.1016/S0092-8674(00)80501-2

20. Wolter KG, Hsu YT, Smith CL, Nechushtan A, Xi XG, Youle RJ. Movement of bax from the cytosol to mitochondria during apoptosis. J Cell Biol1997; 139:1281-92. doi. 10.1083/jcb.139.5.1281

21. Yin C, Knudson CM, Korsmeyer SJ, Vandyke T. Bax suppresses tumorigenesis and stimulates apoptosis in vivo. Nature 1997; 385:637. doi.10.1038/385637a0

22. Riahichebbi I, Souid S, Othman H, Haoues M, Karoui H, Morel A, et al. The phenolic compound kaempferol overcomes 5fluorouracil resistance in human resistant LS174 colon cancer cells. Sci Rep2019; 9:195. doi.10.1038/s41598-018-36808-z

23. Longley DB, Harkin DP, Johnston PG. 5Fluorouracil mechanisms of action and clinical strategies. Nature Rev Cancer 2003; 3:330-8.

24.Riccivitiani L, Lombardi DG, Pilozzi E, Biffoni M, Todaro M, Peschle C, et al. Identification and expansion of human colon cancer initiating cells. Nature 2007;445:111. doi.10.1038/nature05384

25.Oconnell MJ. A phase III trial of 5fluorouracil and leucovorin in the treatment of advanced colorectal cancer a mayo clinic north central cancer treatment group study. Cancer 1989;63:1026-30.

26. Steinmetz KA, Potter JD. Vegetables fruit and cancer. Epidemiol Cancer Caus Cont 1991;2:325-57. doi.10.1007/BF00051672

27. Pullarkat ST, Stoehlmacher J, Ghaderi V, Xiong YP, Ingles SA, Sherrod A, et al. Thymidylate synthase gene polymorphism determines response and toxicity of 5FU chemotherapy. Pharmacogenom J 2001; 1:65-70.

28. Jabboury K, Holmes FA, Hortobagyi G. 5fluorouracil rechallenge by protracted infusion in refractory breast cancer. Cancer1989;64:793-7. doi.10.1002/1097-0143

29 Arbuck SG. Overview of clinical trials using 5fluorouracil and leucovorin for the treatment of colorectal cancer. Cancer 1989;63:1036-44. doi.10.1002/1097-0142

30. Ilghami R, Barzegari A, Mashayekhi MR, Letourneur D, Crepin M, Pavon G. The conundrum of dietary antioxidants in cancer chemotherapy. Nut Rev 2019;2:123-7. doi. 10.1093/nutrit/nuz027

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]

[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]

Investigation of the Effects of Vitamin C on Resistance to 5-FU in Colon Cancer Cells Line HT29

*Ghorbian S[1], Zarei A[1]**

(Received: April 13, 2020 Accepted: April 09, 2021)

Abstract

Introduction: There is growing evidence about the use of antioxidants to reduce the side effects of chemotherapy and cancer drug resistance. Therefore, this study aimed to use vitamin C as an antioxidant and determine its effect on drug resistance in HT29 cells.

Materials & Methods: During this case-control study, HT29 cells were first cultured and evaluated by MTT assay for cell death in the presence of vitamin C and 5FU. DAPI staining was also performed to visualize cell apoptosis. After RNA extraction and cDNA preparation, to determine the molecular mechanism of apoptosis by the drug and the inhibition effect or aggravation of vitamin C on cellular signaling of apoptosis, expression of growth-related genes and apoptosis of Caspase-3 and Bax were measured by real-time PCR.

Findings: The results of the MTT test showed that vitamin C had no significant effect on cell apoptosis induced by 5-FU. DAPI and DNA ladder assay results from HT29 cells showed qualitative changes in cell apoptosis. In addition, real-time PCR results revealed increased expression of Bax and Caspase-3 in HT29 colon cancer cells treated with chemotherapy.

Discussions & Conclusions: Our findings showed that vitamin C did not prevent the effect of chemo drug although it had no positive effect on the growth of cancer cells. Therefore, vitamin C intake by patients undergoing chemotherapy will not affect the drug's effect on the tumor and may protect the patient from side effects.

Keywords: Apoptosis, Colorectal cancer, HT29, Vitamin C, 5fu chemistry

1. Dept of Molecular Genetics, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
**Corresponding author Email: ghorbian20@yahoo.com*

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.3.1.7]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.3.49]