Archive of SID

Immunotherapy of Glioblastoma Multiforme Tumors: From Basic to Clinical Trial Studies

Leila Alizadeh[1†], Ali Gorizan[1†], Maryam Akbari Dana[2], Amir Ghaemi[3*]

[1]Shefa Neuroscience Research Center, Khatam Alanbia Hospital, Tehran, Iran

[2]School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[3]Infectious Diseases Research Center, Department of Microbiology, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

[†]**These authors contributed equally to this work.**

Article Info:

Received: **22 Mar 2015** ***Accepted*****: 22 May 2015**

ABSTRACT

Introduction: Glioblastoma multiforme (GBM) is the most common and deadliest of malignant primary brain tumors in adults and is one of a group of tumors referred to as gliomas. The National Cancer Institute estimates that 23,000 adults were diagnosed with GBM every year in USA, and less than 5% survive 5 years post-diagnosis. Thus, novel therapeutic strategies to target and kill GBM cells are desperately needed to increase the efficiency of therapy. Immunotherapy has the potential of inducing the immunity to remove GBM cells that might have spread throughout the central nervous system. ***Conclusion:*** In current review, the latest developments in preclinical immunotherapy for glioma will be discussed, which involve the local delivery of pro-inflammatory cytokines, such as Flt3L, Type I IFNs, IL-2, IL-4, and IL-12 using gene therapy carriers and neural stem cells, or the blockade of immune-suppressive mediators, such as TGF beta, FasL and phosphorylated STAT3. New immunotherapeutic strategies have also been evaluated in clinical trials applied in GBM patients, which makes it a promising tool in the future treatments for GBM.

Key words:

1. Glioblastoma
2. Cytokines
3. Immunity

**** Corresponding Author:*** Amir Ghaemi

E-mail: *ghaem_amir@yahoo.com*

www.SID.ir

Archive of SID

ایمونوتراپی تومورهای گلیوبلاستوم چند شکلی: از مطالعات پایه تا کارآزمایی‌های بالینی

لیلا علیزاده[۱†]، علی گریزان[۱†]، مریم اکبری دانا[۲]، امیر قائمی[۳*]

[۱]مرکز تحقیقات علوم اعصاب شفا، بیمارستان خاتم الانبیاء، تهران، ایران

[۲]دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۳]مرکز تحقیقات بیماری‌های عفونی، گروه میکروب‌شناسی، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان ، ایران

[†] این نویسندگان به نسبت مساوی در این مقاله مشارکت داشته‌اند.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲ فروردین ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش: ۱ خرداد ۱۳۹۴

چکیده

مقدمه: گلیوبلاستوم چند شکلی یکی از رایج‌ترین و مهلک‌ترین تومورهای مغزی اولیه بدخیم در بزرگسالان است و یکی از گروه تومورهایی است که به‌عنوان گلیوما ارجاع داده می‌شود. انیستیتو ملی سرطان تخمین زده است که هر ساله ۲۳۰۰۰ بزرگسال با گلیوبلاستوم چند شکلی در آمریکا تشخیص داده می‌شوند و کمتر از ۵٪ آن‌ها ۵ سال پس از تشخیص زنده باقی می‌مانند. بنابراین راهبردهای درمانی نوین برای هدف قرار دادن و کشتن سلول‌های گلیوبلاستوم چند شکلی به‌شدت نیاز به افزایش کارایی درمان دارد. ایمونوتراپی دارای پتانسیل القای مصونیت به‌منظور حذف سلول‌های گلیوبلاستوم چند شکلی است که ممکن است دارای توانایی انتشار در سرتاسر سیستم عصبی مرکزی باشند. **نتیجه گیری:** در مقالهٔ مروری حاضر آخرین تحولات در خصوص ایمونوتراپی پیش بالینی برای گلیوما مورد بحث قرار خواهد گرفت که شامل آزادسازی موضعی سایتوکاین‌های پیش التهابی مانند؛ Flt3L، اینترفرون‌های نوع ۱، اینترلوکین ۲، اینترلوکین ۴ و اینترلوکین ۱۲ با بهره‌گیری از حاملین ژن درمانی و سلول‌های بنیادی مغزی یا مهار واسطه‌های سرکوب‌کنندهٔ ایمنی مانند TGF beta، FasL و STAT3 فسفوریله، می‌باشند. راهبردهای نوین ایمونوتراپی نیز در کارآزمایی‌های بالینی مورد استفاده در بیماران گلیوبلاستوم چند شکلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که آن را یک ابزار نوید بخشی در درمان‌های آینده برای گلیوبلاستوم چند شکلی می‌سازد.

کلید واژه‌ها:

۱. گلیوبلاستوم
۲. سایتوکاین‌ها
۳. ایمنی

* **نویسنده مسئول:** امیر قائمی

آدرس الکترونیکی: *ghaem_amir@yahoo.com*

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

علی‌رغم تحقیقات کلینیکی و پاراکلینیکی وسیع جهت افزایش طول عمر بیماران مبتلا به تومور گلیوبلاستوم چند شکلی (GBM)[1]، این بیماری پیش‌آگهی نامعلومی داشته و به‌صورت یک چالش درمانی برای نوروآنکولوژیست‌ها و جراحان مغز و اعصاب باقی مانده است. استفاده از داروی شیمی‌درمانی تموزولومید[2] علاوه بر درمان‌های رایج مانند جراحی و برداشت تومور و اشعه درمانی، طول عمر بیماران GBM را ارتقاء بخشیده ولی تنها ۵٪ از بیماران پس از تشخیص اولیه زنده می‌مانند. از دلایل پایین بودن موفقیت درمان‌های رایج این تومور می‌توان از مقاومت ذاتی تومور گلیوبلاستوم به شیمی‌درمانی و رادیوتراپی، عملی نبودن برداشت کامل تومور توسط جراحی به دلیل ماهیت تهاجمی تومور، وجود سد خونی -مغزی که دسترسی دارو را به محل تومور محدود می‌کند و سمیت عصبی عوامل درمانی که دوزهای مصرفی داروها را محدود می‌سازد، نام برد.

بنابراین روش‌های درمانی نوین، برای درمان این بیماران به‌شدت مورد نیاز است. درمان‌های ایمونوتراپی جهت تحریک سیستم ایمنی بدن برای شناسایی و از بین بردن سلول‌های توموری گلیوبلاستوم بدخیم باقی مانده پس از عمل جراحی می‌باشد. در دهۀ گذشته پژوهشگران تلاش‌های بسیاری با هدف بهبود کارایی روش‌های ایمونوتراپی در بیماران تومور گلیوبلاستوم بدخیم داشته‌اند. در این مقاله آخرین دستاوردهای بالینی و پاراکلینیکی ایمونوتراپی بر روی بیماران گلیوبلاستومای بدخیم ذکر و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

روش‌های استاندارد درمان تومور گلیوبلاستومای بدخیم

سازمان بهداشت جهانی (WHO)[3] گرید III و IV تومور آستروسیتی[4] و الیگوآستروسیتوم[5] (گرید III) و الیگودندروگلیوما[6] (گرید III) را جزء کلاسی از تومورهای سیستم اعصاب مرکزی به نام گلیوم بدخیم دسته‌بندی کرد (۱). تشخیص آستروسیتوم بدخیم توسط آزمایش‌های هیستوپاتولوژیک صورت می‌گیرد. WHO استفاده از سیستم St. Anne-mayo جهت تشخیص و تأیید هیستوپاتولوژی تومورهای بدخیم آستروسیتوم (گرید III) و وجود دو فاکتور از چهار فاکتور ۱- تغییر هسته[7] ۲- میتوز[8] ۳- تکثیر اندوتلیالی[9] ۴- نکروز[10] را جهت تأیید نهایی لازم و ضروری دانسته است (۲).

GBM (گرید IV) با داشتن حداقل سه خصوصیت از چهار ویژگی نامبرده مورد شناسایی قرار می‌گیرد. از آنجایی که خطر انتشار سیستمیک پایین است، طبقه‌بندی انجام شده صرفاً بر پایۀ یافته‌های پاتولوژیک استوار است. از مرکز ثبت تومورهای مغزی در ایالات متحده آمریکا (CBTRUS)[11] در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ تعداد ۹۸۶ و ۲۹۵ هزار تومور اولیۀ سیستم اعصاب مرکزی شناسایی و گزارش شده است. ۶/۳٪ آن‌ها گلیوبلاستومای چند شکلی بود، این تومور به‌عنوان شایع‌ترین نوع تومور سیستم اعصاب مرکزی شناسایی شده است. تشخیص GBM در بین مردان بیشتر از زنان با نسبت ۱:۱/۵ و در سفیدپوستان بیشتر از سیاه‌پوستان با نسبت ۱:۲ گزارش شده است. نتیجۀ بررسی‌ها بر روی سن بیماران مبتلا به این تومور گویای این مطلب است که با افزایش طول عمر احتمال بروز این نوع تومور افزایش می‌یابد. شیوع این تومور در گروه‌های سنی ۸۴-۷۵ سال بیشتر می‌باشد و میانگین سن مبتلایان به این تومور ۶۴ سالگی گزارش شده است. قرار گرفتن در معرض اشعه‌های یونیزان، عاملی برای پیشرفت تومور گلیومای بدخیم شناخته شده است. پیش‌آگهی بیماری GBM ضعیف می‌باشد، از این‌رو احتمال بهبود پایین و احتمال مرگ این بیماران بالاست (۲). از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۸ میزان بقای یک‌سالۀ بیماران مبتلا به GBM ۳۵٪، درحالی‌که میزان بقای پنج‌سالۀ آن‌ها تنها ۵٪ گزارش شده است (۲).

شانس زنده ماندن بیماران با تومور آستروسایتومای آناپلاستیک کمی بیشتر است و میزان بقای یک‌سالۀ آن‌ها ۶۱٪ و میزان بقای پنج‌سالۀ آن‌ها ۲۷٪ گزارش شده است. در حال حاضر میانگین بقاء بیماران با تشخیص GBM، ۱۲ تا ۱۵ ماه می‌باشد درحالی‌که میانگین بقاء برای آستروسایتومای آناپلاستیک بین ۳۶ تا ۶۰ ماه است. به‌طور معمول این بیماران با علایم عمومی مانند سردرد، اختلالات اعصاب مرکزی، تغییر وضعیت ذهنی، تغییرات شخصیتی، تشنج، سردردهای همراه با تهوع و استفراغ و افزایش فشار داخل جمجمه به پزشک مراجعه می‌کنند.

در زمان تشخیص فاکتورهای سن بالا، وضعیت پایین عملکردی کارنوفسکی[12]، غیرقابل برداشت بودن تومور، ویژگی‌های بافت‌شناسی مطابق با GBM حاکی از پیش‌آگهی ضعیف‌تری هستند. درمان رایج برای بیماران مشکوک به GBM، برداشت تومور توسط جراح و به دنبال آن رادیوتراپی کانونی و شیمی‌درمانی همزمان می‌باشد. جهت کاهش ادم حاصل از تومور، از دوز بالای کورتیکواستروئیدها (اغلب دگزامتازون) استفاده می‌گردد. این نوع درمان علایم عصبی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر آن درمان ضد تشنجی همزمان با علایم اولیۀ حملات تشنجی مورد نیاز است. به‌علاوه زمانی که تشنج جزء علایم اولیه باشد، باید درمان ضد صرعی نیز انجام گردد.

اولین قدم در درمان بیماران با تومور GBM، برداشت تومور توسط جراح است. یکی از محدودیت‌های معمول در برداشت تومور توسط جراحی، موقعیت مکانی تومور در ناحیۀ کنترل تکلم در مغز است. به‌تازگی نشان داده شده است که برداشت حداقل ۷۸٪ تومور باعث افزایش طول عمر بیماران می‌گردد و موفقیت در جراحی به سن بیمار، وضعیت عملکرد کارنوفسکی، حجم تومور و میزان برداشت تومور پس از جراحی بستگی دارد (۳).

میزان وسعت برداشت تومور و حجم تومور پس از جراحی

میانگین زندگی بیماران بعد از جراحی و برداشت ۷۸٪ حجم تومور، ۱۲/۵ ماه است؛ در مقابل این زمان بعد از شیمی‌درمانی با تموزولومید به ۱۶ ماه می‌رسد. از سال ۲۰۰۵، تموزولومید

[1] Glioblastoma multiforme (GBM)
[2] Temozolomide
[3] World Health Organization
[4] Astrocytic tumors
[5] Oligoastrocytomas
[6] Oligodendrogliomas
[7] Nuclear atypia
[8] Mitosis
[9] Endothelial proliferation
[10] Necrosis
[11] Central Brain Tumor Registry of the United States
[12] Karnofsky

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عنوان داروی درمانی GBM مورد استفاده قرار گرفته است. استاپ[13] و همکاران در سال ۲۰۰۵ درمان ترکیبی تموزولومید به‌همراه رادیوتراپی را بر روی بیماران مورد بررسی قرار دادند (۳). میانگین عمر بیمارانی که فقط تحت درمان با رادیوتراپی قرار گرفته بودند، ۱۲/۱ ماه گزارش شد. در مقابل عمر بیمارانی که درمان ترکیبی تموزولومید و رادیوتراپی را باهم داشتند، به ۱۴/۶ ماه افزایش یافته بود. قابل ذکر است که نرخ بقاء دوساله در گروه مصرف‌کنندهٔ تموزولومید به همراه رادیوتراپی ۲۶/۵٪ و در بیمارانی که فقط رادیوتراپی شده بودند به ۱۰/۴٪ گزارش گردید. به علت اثبات افزایش بقاء در گروه‌های درمانی با تموزولومید همزمان با رادیوتراپی، این درمان ترکیبی به‌عنوان یک درمان استاندارد شناخته شد (۳).

خاموشی پروموتور ژن متیل گوانین متیل ترانسفراز (MGMT)[14] در اثر عوامل اپی ژنتیک یک نشانگر[15] مولکولی است که اهمیت پیش آگهی آن اثبات شده است. ژن MGMT یک پروتئین بازسازی کنندهٔ DNA می‌باشد که مسئول برداشت گروه آلکیل از اکسیژن موقعیت ۶ گوانین می‌باشد. متیله شدن پروموتور این ژن، باعث خاموشی اپی ژنتیک و اختلال در بازسازی DNA می‌گردد (۴). بیمارانی که پروموتور ژن MGMT آن‌ها متیله شده بود تحت درمان با تموزولومید و رادیوتراپی قرار گرفتند، متوسط بقاء این بیماران ۲۱/۷ ماه گزارش گردید. در مقابل متوسط بقاء در بیماران بدون متیله شدن پروموتور ژن MGMT که همین درمان ترکیبی را دریافت کرده بودند، ۱۵/۳ ماه گزارش شد (۴).

راهبردهای[16] ایمونوتراپی برای گلیوما: اثربخشی بالینی

در طول دههٔ گذشته در جهت درمان GBM از ناقلین ژن‌درمانی استفاده شد. بسیاری از آن‌ها سبب عرضه موضعی سایتوکاین‌های پیش التهابی می‌شوند که باعث جذب سلول‌های التهابی به تودهٔ توموری می‌گردد (به‌عنوان مثال: Flt3L) یا سیستم ایمنی میزبان را تحریک می‌کند (به‌عنوان مثال: اینترلوکین-۱۲[17]) و یا اینکه به‌صورت مستقیم اثرات ضد توموری را اعمال می‌کنند (اینترفرون آلفا[18]). همچنین مهار سایتوکاین‌های سرکوب‌کننده‌ای مانند TGF-β[19] و FasL[20] مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا اثربخشی و بی‌خطر بودن این رویکردهای ژن‌درمانی به‌واسطهٔ ایمنی مورد بحث قرار خواهد گرفت (۵).

بیان موضعی سایتوکاین Flt3L

لیگاند تیروزین کیناز شبه FMS، فاکتور رشد برای پیش سازهای خونی می‌باشد که باعث گسترش و تمایز سلول‌های دندرتیک می‌شود. استفادهٔ داخل جمجمه‌ای ناقل آدنوویروسی کد کنندهٔ این سایتوکاین (Ad-Flt3L) باعث گسترش و انتشار سلول‌های دندرتیک و ورود آن‌ها به پارانشیم مغز می‌گردد. تزریق داخل توموری Ad-Flt3L به‌طور قابل توجهی تعداد سلول‌های دندرتیک و دیگر سلول‌های عرضه‌کنندهٔ آنتی ژن GBM را در مغز موش‌های صحرایی و موش‌ها افزایش می‌دهد. اگرچه کاربرد Ad-Flt3L به‌عنوان یک عامل درمانی باعث مهار تومور در مدل‌های پیش بالینی GBM نمی‌گردد (۶).

القای یک پاسخ ایمنی مؤثر آنتی تومور نه‌تنها به یک محرک سیستم ایمنی نیاز دارد، بلکه به آزاد شدن آنتی ژن‌های توموری و پروتئین‌های التهابی داخل سلولی مشتق از سلول‌های توموری نیز نیازمند است. گزارش شده است که ترکیب Ad-Flt3L و عوامل سمیت سلولی به منظور القای یک پاسخ مؤثر آنتی توموری مورد نیاز است؛ این امر به کاهش تومور و بقای بیشتر بیماران منجر می‌گردد (۷).

به نظر می‌رسد که سلول‌های دندرتیک وارد شده در درون تومور مغز موش‌ها و موش‌های صحرایی تیمار شده با Ad-Flt3L به‌منظور شروع پاسخ ایمنی آنتی تومور نیاز به فعال‌سازی به‌وسیلهٔ HMGB1[21] -یک آگونیست TLR2[22] آزاد شده به‌وسیلهٔ سلول‌های مردهٔ توموری- دارند. عوامل پروآپوپتوتیک متعددی مانند تیمیدین کیناز (TK)[23]، آزادسازی HMGB1 را از سلول‌های GBM القاء می‌کنند. TK، سایتوتوکسینی است که در حضور پیش داروی گانسیکلوویر (GCV)[24] منجر به آپوپتوز سلول‌های تومور در حال تقسیم می‌شود (۶، ۸).

از میان این راهبردهای درمانی، Ad-TK+GCV باعث بیشترین میزان آزادسازی HMGB1 می‌گردد. گزارش شده است که ترکیب Ad-Flt3L با Ad-TK+GCV بیشترین اثر را در القای مهار تومور در موش‌ها و موش‌های صحرایی که GBM داخل جمجمه‌ای در آن‌ها ایجاد شده است، دارد. در موش‌های صحرایی دارای تومور داخل جمجمه‌ای CNS-1[25]، درمان با Ad-Flt3L+Ad-TK+GCV به بقاء طولانی مدت در ۷۵٪ موارد منجر می‌گردد، درحالی‌که Ad-Flt3L+Ad-FasL در القاء مهار و کاهش تومور ناتوان می‌باشد (۷).

گزارش‌هایی از یافته‌های اولیهٔ آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در موش‌های دارای GL26 یا GBM GL261 یا ملانومای متاستاتیک، ترکیب Ad-Flt3L+Ad-TK+GCV در ۵۰-۴۰٪ حیوانات منجر به کاهش تومور می‌گردد، درحالی‌که درمان داخل توموری با Ad-Flt3L ترکیب شده با تموزولومید سیستمیک میانگین بقاء را بهبود می‌بخشد، اما باعث بقای طولانی مدت نمی‌گردد (۱۰، ۹).

یافته‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از ترکیب Ad-TK+Ad-Flt3L در شرایط in situ گزینهٔ مناسبی برای درمان کمکی به همراه واکسن‌های سیستمیک دندرتیک سلی می‌باشد. این نوع درمان کارایی ضد توموری را در بیماران GBM افزایش می‌دهد. افزایش اثربخشی درمان و ایمنی ضد توموری در راستای تغییر محیط تومور به‌وسیلهٔ تزریق داخل توموری Ad-TK+Ad-Flt3L در ترکیب با واکسیناسیون موضعی دندرتیک سلی در مقایسه با هر یک از آن‌ها به‌تنهایی در موش‌های صحرایی دارای تومورهای بزرگ CNS-1، گزارش شده است. ویژگی مهم ناقل‌های ژن‌درمانی تزریق شده به مغز، قابلیت ایمن و بی‌خطر نوروپاتولوژیک آن‌ها است. از آنجایی که این ناقل‌های طراحی شده برای درمان بیماران GBM پس از برداشت

[13] Stupp
[14] Methyl guanine methyl transferase
[15] Marker
[16] Strategies
[17] Interleukin 12
[18] Interferon alpha
[19] Transforming growth factor beta
[20] Fas ligand
[21] High-mobility group box 1
[22] Toll-like receptor 2
[23] Thymidine kinase
[24] Ganciclovir
[25] Cyclophilin seven suppressor

www.SID.ir

Archive of SID

تومور به وسیلهٔ جراحی به محل تومور تزریق می‌گردد، ارزیابی‌های پاراکلینیکی و نوروپاتولوژی در پارانشیم مغز سالم در سنجش کارایی درمان‌های نهایی برای GBM ضروری و حیاتی می‌باشد.

تزریق داخل جمجمه‌ای Ad-Flt3L و Ad-TK به مغز موش‌های صحرایی و سگ‌های بدون تومور، پروفایل نورولوژیکی بسیار ایمنی را به همراه التهاب خفیف موضعی و بدون علایم سمیت عصبی نشان می‌دهد. با این وجود، استفاده از پروموتورهای قابل القاء مثل عنصر پاسخ‌گو به تتراسایکلین (TRE)[۲۶]، به کنترل بیان ترانس ژن در شرایطی که اثرات جانبی ایجاد شوند، کمک می‌کند. در سلول‌های GBM انسان، سگ و موش بیان ژنFlt3L با استفاده از پروموتور TRE از طریق کنترل ترانس ژن به‌شدت قابل تنظیم است که امنیت و بی‌خطر بودن این نوع درمان را افزایش می‌دهد و به طور اختصاصی اثرات ضد توموری را القاء می‌کند (۹، ۱۰).

اینترفرون‌های نوع ۱

دریافت IFN-α به‌عنوان روشی برای درمان GBM ارزیابی شده است. IFN-α به‌عنوان یک هدف نوین برای درمان GBM از نظر اثرات آن روی ایمنی ضد تومور، عروق‌زایی و تکثیر سلول توموری مورد توجه است. IFN-α به‌عنوان فاکتور ضد خون‌سازی در مدل‌های GBM درون جمجمه‌ای پیش کلینیکی عمل می‌کند. IFN-α همچنین یک محرک قوی برای سیستم ایمنی است چرا که سلول دندرتیک را فعال می‌نماید و بیان II و MHC I[۲۷] را تنظیم و پاسخ‌های ایمنی را افزایش می‌دهد. اگرچه به‌کارگیری Ad-IFN-α به‌تنهایی اثر درمانی مفیدی در تومورهای CNS-1 ندارد اما اشتراک آن با Ad-TK منجر به کاهش تومور و زنده ماندن طولانی در حدود ۵۰٪ حیوانات می‌شود. همچنین به‌کارگیری IFN-β به‌عنوان راهبرد درمانی GBM مورد بررسی قرار گرفته است (۷).

اگرچه IFN-α سایتوکاینی است که برای درمان سرطان مورد آزمایش قرار گرفته است، لیکن سمیت قابل توجه آن باعث محدودیت استفاده از این سایتوکاین شده است. به‌کارگیری IFN-α در مغز سالم موش صحرایی به التهاب موضعی و از دست رفتن بافت مغز، نکروز، خونریزی و اثرات جانبی سیستمیک منجر شد (۶). استفاده از پروموتورهای اختصاصی سلولی و قابل القاء ممکن است قابلیت بی‌خطری این رویکرد را افزایش دهد، همان‌طور که باعث کنترل زمانی و توپوگرافی بیان ترانس ژن می‌شوند (۱۱). به‌تازگی یک پروموتور دوگانه اختصاصی گلیال و القاء شده با هایپوکسی مطرح شده است. در این ناقل ترانس ژن اختصاصی دوگانه، بیان ژن نستین[۲۸] به‌وسیلهٔ پروموتور SV40[۲۹] و تقویت‌کنندهٔ اریتروپویتینی برای سلول‌های گلیال و بیان ژن اختصاصی هایپوکسی کنترل می‌شود (۱۱). پروموتورهای قابل القاء با اشعه نیز ابزارهای مناسبی برای محدود کردن سمیت این روش‌ها هستند (۱۲).

اینترلوکین نوع ۲

IL-2 یک سایتوکاین اختصاصی Th1[۳۰] است و از سلول‌های CD8+T آزاد شده و ایمنی ضد توموری را باواسطهٔ CTL[۳۱] افزایش می‌دهد که آن را یک هدف جذاب برای ایمونوتراپی GBM قرار می‌دهد. اگرچه استفاده سیستمیک از آن به علت سمیت این سایتوکاین محدود است، به‌کارگیری موضعی IL-2 به استفادهٔ متوالی داخل جمجمه‌ای نیاز دارد (۱۳).

ناقل‌های ژن‌درمانی ابزارهای مناسبی برای عرضهٔ طولانی مدت این سایتوکاین در مغز هستند. برای عرضهٔ IL-2 حامل‌های ژن‌درمانی در ترکیب با راهبردهای پروآپوپتوتیک، به‌منظور تحریک و افزایش ایمنی ضد GBM مورد استفاده قرارگرفته‌اند. پلاسمیدها و ویروس‌های واکسینیای کد کنندهٔ IL-2 و مولکول‌های پروآپوپتوتیک p53 و یا Bax به‌صورت درون توموری در گلیومای موش صحرایی C6 و موش‌های nude استفاده شدند. لازم به ذکر است که این درمان‌ها با عملکرد ضد توموری و بدون اثرات جانبی در مدل حیوانی فاقد هر گونه ایمنی مشاهده گردیدند (۱۴). یک حامل آدنو ویروسی کد کنندهٔ IL-2 در ترکیب با Ad-TK و Ad-Flt3L برای درمان GBM در موش صحرایی مدل RG2 مورد استفاده قرار گرفت (۱۵).

موش‌های صحرایی مبتلا به تومورهای RG2 داخل جمجمه‌ای یک مدل چالش برانگیز در درمان GBM بوده‌اند، چرا که این تومورها نشان دادند که به بیشتر رویکردهای درمانی از جمله رادیوتراپی، شیمی‌درمانی و ایمونوتراپی مقاوم‌اند. بیان بالای IL-2 درون‌ریز محیط تومور RG2، سلول‌های T افکتور را تحریک می‌کند و مانع از نفوذ سلول‌های T تنظیمی شده و پاسخ‌های ایمنی ضد توموری به‌واسطهٔ CTL را افزایش می‌دهد و هنگامی‌که با Ad-Flt3L+Ad-TK ترکیب می‌شود به‌طور موفقیت‌آمیزی میانگین بقای موش‌های صحرایی مبتلا به تومور RG2 را افزایش می‌دهد (۱۵).

سایر سایتوکاین‌ها

راهبرد دیگر برای عرضهٔ ژن‌درمانی به تومورهای مغزی، استفاده از سلول‌های بنیادی عصبی (NSCs)[۳۲] می‌باشد، این سلول‌ها شبیه به سلول‌های GBM فعالیت مهاجرتی درون پارانشیم مغز دارند (۱۶). به‌کارگیری NSCs برای عرضهٔ سایتوکاین‌های پیش التهابی مانند IL-4 و IL-12 در گلیوماهای داخل جمجمه‌ای موش و موش‌صحرایی در محیط In vivo منجر به کاهش حجم تومور GBM گردید. سلول‌های بنیادی عصبی با ترشح‌کنندهٔ IL-2 در ارتباط هستند که این امر سبب افزایش نفوذ سلول‌های T به میکروستلایت‌های تومور می گردد که در نهایت منجر به افزایش ایمنی ضد توموری می‌گردد. بنابراین فعالیت سلول‌های بنیادی عصبی جهت از بین بردن سلول‌های گلیومای منتشر شونده می‌تواند استفاده شود (۱۷). اگرچه از لحاظ سمیت عصبی نیاز به ارزیابی‌های بیشتر است ولی به‌کارگیری موضعی NSCs به‌عنوان یک ابزار مفید برای عرضهٔ سایتوکاین‌های درمانی برای درمان GBM در حال بررسی است. ژن‌درمانی به‌واسطه بیان بالای سایتوکاین‌های پیش التهابی نیز می‌تواند به‌منظور افزایش اثربخشی واکسن‌های ضد گلیومایی مورد استفاده قرار گیرد (۱۸).

[26] Tetracycline response elements
[27] Major histocompatibility complex (MHC)
[28] Nestin
[29] Simian virus 40
[30] T-helper cell 1
[31] Cytotoxic T lymphocytes
[32] Neural stem cells

www.SID.ir

Archive of SID

واکسن‌های سلولی تومور 9L rat GBM برای تولید IL-4 و TK و به‌منظور درمان GBM داخل جمجمه‌ای طراحی شده‌اند. ایمونیزاسیون زیر جلدی موش‌های صحرایی با سلول‌های اشعه ندیدهٔ 9L-IL-4 یا 9L-IL-4-TK به دنبال درمان گانسیکلوویر موش‌های صحرایی، سبب ممانعت از ورود تومورهای تیپ وحشی 9L به درون جمجمه می‌شود (۱۸). درمان خفیف اما مداوم (۳ روزه) تومورهای 9L داخل جمجمه‌ای، ایمنی ضد توموری سلولی را القاء کرده و باعث بقای طولانی مدت (بیش از ۱۰۰ روز) در ۴۵-۲۵٪ موش‌های صحرایی گردید (۱۸) که نشان‌دهندهٔ این است که ژن‌درمانی به‌واسطهٔ طراحی واکسن‌های ضد تومور ممکن است ایمنی ضد توموری را افزایش دهد.

مهار سرکوب ایمنی باواسطهٔ TGF-β

یکی از مولکول‌های سرکوبگر سیستم ایمنی تولید شده به‌وسیلهٔ سلول‌های GBM، فاکتور TGF-β می‌باشد که باعث مهار تکثیر و فعال شدن سلول‌های B و T می‌شود. این سایتوکاین ترشح مولکول‌های پیش التهابی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش بیان MHC II در سلول‌های GBM می‌شود. به‌منظور فایق آمدن بر GBM، تلاش‌های بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف ژن‌درمانی برای محدود کردن فعالیت TGF-β صورت گرفته است. عرضهٔ سیستمیک اولیگونوکلئوتیدهای آنتی سنس TGF-β (سکانس‌های مکمل TGF-β بر روی DNA) با استفاده از نانو ذرات پلی بوتیل سیانو آکریلات[۳۳] در موش‌های مبتلا به F98 GBM به‌صورت داخل جمجمه‌ای، به‌منظور ارتقاء پاسخ ایمنی ضد توموری به‌وسیلهٔ ایمونیزاسیون محیطی با سلول‌های توموری آلوده با ویروس بیماری نیوکاسل[۳۴] انجام شده است (۱۹). اگرچه این درمان به بقای طولانی مدت منجر نمی‌گردد، اما میانگین بقای موش‌های صحرایی مبتلا به تومور را ارتقاء می‌دهد و به افزایش سطوح سلول‌های T فعال شده ختم می‌گردد که بیان‌کنندهٔ این مطلب است که محدود کردن TGF-β ممکن است به عنوان یک راهبرد کمکی سیستم ایمنی، ارزش درمانی داشته باشد (۲۰).

راهبرد دیگر برای محدود کردن TGF-β، بیان بالای گیرنده‌های محلول TGF-β می‌باشد که برای باند شدن لیگاند به گیرندهٔ خود رقابت می‌کند و سبب مهار اثرات TGF-β می‌گردد و عرضهٔ گیرنده‌های محلول TGF-β با استفاده از ناقلین آدنوویروسی، رشد GBM انسانی پیوند شده به موش nude در محیط In vivo را به تأخیر می‌اندازد (۲۱). اگرچه در این مدل توموری اثرات ایمنی این راهبرد قابل ارزیابی نیست، بررسی اثرات مستقیم ضد توموری محدود کردن با استفاده از این ناقل در GBM مدل‌های موشی سینژنیک[۳۵] مربوطه اطلاعات معتبرتری را عرضه می‌نماید (۲۲).

تلاش‌هایی برای مسدود کردن فعالیت TGF-β به‌وسیلهٔ بیان بالای decorin (یک پروتئوگلیکان کوچکی است که باعث غیر فعال شدن TGF-β می‌گردد)، با استفاده از ناقلین آدنوویروسی در مدل موش صحرایی صورت گرفته است. بیان decorin به‌وسیلهٔ پروموتور hCMV[۳۶] و پروموتور GFAP[۳۷] اختصاصی سلول گلیال کنترل می‌گردد (۲۲). بیان بالای decorin، پیشرفت گلیوما را در محیط In vivo کند می‌کند و همچنین بیان بالای decorin فعالیت زیستی و بیان در سلول‌های سرطان انسانی در In vitro را کاهش می‌دهد و نفوذ موضعی سلول‌های T را در مدل‌های حیوانی GBM در محیط In vivo افزایش می‌دهد. روی هم رفته، این یافته‌ها نشان می‌دهند که عرضهٔ ژن‌درمانی باواسطهٔ decorin ممکن است یک عامل مکمل مفید برای درمان GBM را اثبات کند.

ایمونوتراپی‌های گلیوما: آزمایش‌های بالینی

در طول قرن گذشته حدس و گمان‌هایی وجود داشته است که سیستم ایمنی نقش مهمی در بیماران مبتلا به گلیوبلاستوما بازی می‌کند. گزارش‌های موردی نشان می‌دهند که عفونت‌های پس از عمل جراحی به ارتقای بقاء بیماران گلیوبلاستوما منجر می‌گردد (۲۲).

De Bonis و همکاران در سال ۲۰۱۱ سابقه‌ای از ۱۹۷ بیمار منتشر کردند که تحت عمل کرانیوتومی به دلیل گلیوبلاستوما قرار گرفته بودند (۲۳). عفونت‌های پس از جراحی در ۵٪ از بیماران مشاهده شد و مشخص گردید که این دسته از بیماران مزیت ۱۵ ماه بقاء را در مقایسه با کرانیوتومی‌های گلیوبلاستومای غیر عفونی داشتند. امروزه مشخص شده است که بیماران مبتلا به گلیوبلاستوما سیستم ایمنی کم و بیش سرکوب شده‌ای دارند و درجهٔ سرکوب ارتباط معکوس با بقای این بیماران دارد (۲۳). با توجه به این مشاهدات و با هدف قرار دادن هر دو ایمنی فعال و تطابقی، درمان‌های جدیدی برای بیماران گلیوبلاستوما ارائه شده است.

ایمونوتراپی علیه گلیوبلاستومای بدخیم

ایمونوتراپی بر اساس سلول (که به‌عنوان ایمنی تطابقی نیز شناخته می‌شود) شامل به‌کارگیری سلول‌های ایمنی فعال شده در محیط Ex vivo، در بدن فرد بیمار به‌طور داخل وریدی و یا از راه کاشتن و وارد کردن آن‌ها در حفرهٔ توموری می‌باشد. سلول‌های کشندهٔ طبیعی فعال شده توسط لنفوسیت‌ها، اولین سلول‌هایی بودند که در آزمایش‌ها و بررسی‌های بالینی در بیماران گلیوبلاستوما استفاده شدند. این سلول‌ها از لنفوسیت‌های خون محیطی کشت داده شده با IL-2 جمع‌آوری می‌گردند. این فرایند منجر به تولید سلول‌های T سایتوتوکسیک و سلول‌هایی می‌گردد که قادر به تهاجم و حملهٔ سیستماتیک بوده اما به‌طور اختصاصی بر علیه سلول‌های گلیوبلاستوما عمل نمی‌کنند. فاز اول آزمایش‌های بالینی با استفاده از این روش تا حد زیادی بی‌اثر بوده است (۲۴).

دیلمان و همکاران نتایج بررسی‌ها بر روی ۳۶ بیمار را منتشر کردند که لنفوکاین اتولوگ سلول‌های کشندهٔ طبیعی فعال شده دریافت کرده بودند. میانگین بقای ۲۰ ماهه در ۷۵٪ بیماران در یک سال گزارش شد (۲۵، ۲۴). رویکرد دیگر استفاده از لنفوسیت‌های T سایتوتوکسیک آلوژنیک تحریک شده به‌وسیلهٔ سلول‌های اتولوگ تومور به‌عنوان یک منبع آنتی ژنی می‌باشد. در آزمایش‌های بالینی لنفوسیت‌ها از خون محیطی و گره‌های لنفاوی پس از تزریق محیطی سلول‌های توموری اتولوگ غیر فعال شده با اشعه و GM-CSF جمع‌آوری شدند. این سلول‌ها سپس در محیط In vitro فعال شده و دوباره به بیماران تزریق شدند (۲۶).

بررسی واکسن علیه گلیوماهای بدخیم

روش‌های مبتنی بر واکسن که ایمنی فعال را بر علیه گلیوبلاستوما فعال می‌کنند، در آزمایش‌های بالینی با استفاده از درمان‌هایی بر

[33] Poly n-butyl cyanoacrylate
[34] Newcastle disease virus
[35] Syngeneic
[36] Human cytomegalovirus
[37] Glial fibrillary acidic protein

www.SID.ir

Archive of SID

اساس سلول یا پپتید صورت می‌گیرد. واکسیناسیون با سلول‌های دندرتیک یکی از درمان‌هایی است که به‌طور وسیع مطالعه شده است. تا به امروز ۲۰ فاز آزمایش‌های بالینی I و II شامل واکسن‌های DC[۳۸]، برای بیماران بزرگسال گلیوبلاستوما منتشر شده است. در اکثر مطالعات بالینی سلول‌های دندرتیک با استفاده از تمایز مونوسیت‌های خون محیطی با IL-4 و GM-CSF کشت داده شده‌اند. اگرچه در پژوهش‌های مختلف، ترکیبی از عوامل دیگر شامل آگونیست گیرندهٔ TLR، TNFα، IL1β و IFNγ برای بلوغ سلول‌های دندرتیک استفاده شده است. هرچند منبع آنتی ژنی در میان آزمایش‌ها متغیر است، اما به‌طور معمول دربرگیرندهٔ عصارهٔ اتولوگ تومور، پپتیدهای اختصاصی تومور، mRNA های جدا شده از عصارهٔ تومور یا پپتیدهای حاصل از تومور اتولوگ می‌باشند.

واکسن‌ها بیشتر به‌صورت زیر جلدی، داخل جلدی یا داخل جمجمه‌ای تزریق می‌گردند. به نظر می‌رسد واکسن‌های DC به‌خوبی تحمل می‌شوند و دارای حداقل اثرات سمی درجهٔ II نظیر بیماری شبه آنفولانزا، سردرد و غیره می‌باشند. در حال حاضر تنها یک فقره از ادم پریتومورال و بی‌حسی در مقالات گزارش شده است. به نظر می‌رسد ایمونوتراپی با استفاده از سلول‌های دندرتیک اثر مفیدی در برخی از بیماران مبتلا به گلیوبلاستوما دارد، از ۲۰ گزارش منتشر شده، ۱۳ مورد بقاء در مقایسه با گروه کنترل نشان داده شده است.

یاماناکا و همکاران نتایج فاز I/II، ۲۴ بیمار با گلیوبلاستومای جدید یا راجعه که سلول‌های اتولوگ تومور همراه با DC + هموسیانین دریافت کرده بودند را منتشر ساختند. این سلول‌ها یا به‌صورت داخل جلدی به‌تنهایی یا به‌صورت داخل جلدی همراه با تزریق داخل جمجمه‌ای به کار گرفته شدند. نتایج مطالعه ارتقاء بقاء را در بیمارانی که هم تزریق زیر جلدی و هم داخل جمجمه‌ای گرفته بودند و همین طور بیماران واکسینه شده با DC های بالغ گزارش کردند (۲۷). Liau و همکاران نشان دادند که یک پاسخ ایمونولوژیکی در بیمار (نفوذ سلول T به درون بافت) با کاهش TGF-β و میانگین کلی بهبود مرتبط است (۲۸).

تحقیقات در دههٔ گذشته نشان داده که ایمونوتراپی برای گلیومای بدخیم یک پاسخ ایمنی را به راه می‌اندازد. سؤالات زیادی در این مورد باقی مانده است، به‌ویژه اینکه آیا این درمان‌ها به‌راستی بقاء بیماران را بهبود می‌بخشد. وجود اختلافات در روش‌ها و پروتکل‌های درمانی، تعداد محدود بیماران و عدم وجود آزمایش‌ها و بررسی‌های وسیع بالینی، سدی در برابر پاسخ به این پرسش‌های مهم شده است. همچنان که دانش ایمونوتراپی افزایش می‌یابد، ما امید به درک بهتر اثرات بدخیمی گلیوما بر روی سیستم ایمنی و توسعهٔ راهبردهای درمانی جدید برای بهبود پیامدهای درمانی داریم (۲۹، ۳۰).

نتیجه گیری

GBM باوجود پیشرفت در روش‌های درمانی، مثل جراحی مغز، رادیوتراپی و شیمی‌درمانی، همچنان با چالش‌های درمانی عمده‌ای مواجه می‌باشد. افزایش ایمنی سیستم میزبان به‌طور خاص برای از بین بردن سلول‌های توموری در مغز بدون آسیب به نواحی سالم اطراف تومور، از جمله تحقیقات رو به پیشرفت می‌باشد. از ویژگی‌های GBM، تهاجمی بودن آن و این واقعیت است که تومور همیشه اتفاق می‌افتد. بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که روش‌های ایمونوتراپی، پتانسیل یافتن و از بین بردن نفوذ سلول‌های GBM در مغز را دارند.

علاوه بر این، ایمونوتراپی به‌واسطهٔ سلول‌های T خاطره‌ای خاص تومور که قابلیت ریشه‌کن کردن عود تومور را دارند، دارای پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای درمان مؤثر GBM است. آن‌ها می‌توانند به همراه درمان‌های کنونی به کار گرفته شوند. اگرچه چندین راهبرد مؤثر در مدل‌های حیوانی به‌صورت بالینی در GBM ثابت شده است اما این مطالعات هنوز به مرحلهٔ آزمایش‌های بالینی انسانی نرسیده‌اند. انتظار می‌رود که یافته‌های گزارش شده در این حوزه بررسی‌ها و اجرای آزمایش‌های بالینی بیشتر را تحریک نماید.

منابع

1. Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, Cavenee WK, Burger PC, Jouvet A, et al. WHO classification of tumours of the central nervous system. Acta Neuropathol. 2007; 114(2): 97-109.

2. Fisher JL, Schwartzbaum JA, Wrensch M, Wiemels JL. Epidemiology of brain tumors. Neurol Clin. 2007; 25(4): 867-90.

3. Stupp R, Mason WP, van den Bent MJ, Weller M, Fisher B, Taphoorn MJ, et al. Radiotherapy plus concomitant and adjuvant temozolomide for glioblastoma. N Engl J Med. 2005; 352(10): 987-96.

4. Hegi ME, Diserens AC, Gorlia T, Hamou MF, de Tribolet N, Weller M, et al. MGMT gene silencing and benefit from temozolomide in glioblastoma. N Engl J Med. 2005; 352(10): 997-1003.

5. Choi C, Gillespie GY, Van Wagoner NJ, Benveniste EN. Fas engagement increases expression of interleukin-6 in human glioma cells. J Neurooncol. 2002; 56(1): 13-9.

6. Candolfi M, Yagiz K, Foulad D, Alzadeh GE, Tesarfreund M, Muhammad AK, et al. Release of HMGB1 in response to proapoptotic glioma killing strategies: efficacy and neurotoxicity. Clin Cancer Res. 2009; 15(13): 4401-14.

7. King GD, Kroeger KM, Bresee CJ, Candolfi M, Liu C, Manalo CM, et al. Flt3L in combination with HSV1-TK-mediated gene therapy reverses brain tumor-induced behavioral deficits. Mol Ther. 2008; 16(4): 682-90.

8. Tsurushima H, Yuan X, Dillehay LE, Leong KW. Radioresponsive tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (TRAIL) gene therapy for malignant

[38] Dendritic cell vaccines

www.SID.ir

Archive of SID

brain tumors. Cancer Gene Ther. 2007; 14(8): 706-16.

9. Jarboe JS, Johnson KR, Choi Y, Lonser RR, Park JK. Expression of interleukin-13 receptor alpha2 in glioblastoma multiforme: implications for targeted therapies. Cancer Res. 2007; 67(17): 7983-6.

10. Debinski W, Gibo DM, Obiri NI, Kealiher A, Puri RK. Novel anti-brain tumor cytotoxins specific for cancer cells. Nat Biotechnol. 1998; 16(5): 449-53.

11. Kim HA, Park JH, Cho SH, Lee J, Lee M. Glia/ischemia tissue dual specific gene expression vector for glioblastoma gene therapy. J Control Release. 2011;152 Suppl 1: e146-8.

12. Tsurushima H, Yuan X, Dillehay LE, Leong KW. Radioresponsive tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (TRAIL) gene therapy for malignant brain tumors. Cancer Gene Ther. 2007; 14(8): 706-16.

13. Chen B, Timiryasova TM, Andres ML, Kajioka EH, Dutta-Roy R, Gridley DS, et al. Evaluation of combined vaccinia virus-mediated antitumor gene therapy with p53, IL-2, and IL-12 in a glioma model. Cancer Gene Ther. 2000; 7(11): 1437-47.

14. Haghighat P, Timiryasova TM, Chen B, Kajioka EH, Gridley DS, Fodor I. Antitumor effect of IL-2, p53, and bax gene transfer in C6 glioma cells. Anticancer Res. 2000; 20(3A): 1337-42.

15. Mineharu Y, King GD, Muhammad AK, Bannykh S, Kroeger KM, Liu C, et al. Engineering the brain tumor microenvironment enhances the efficacy of dendritic cell vaccination: implications for clinical trial design. Clin Cancer Res. 2011; 17(14): 4705-18.

16. Aboody KS, Brown A, Rainov NG, Bower KA, Liu S, Yang W, et al. Neural stem cells display extensive tropism for pathology in adult brain: evidence from intracranial gliomas. Proc Natl Acad Sci U S A. 2000; 97(23): 12846-51.

17. Vetter M, Hofer MJ, Roth E, Pircher HP, Pagenstecher A. Intracerebral interleukin 12 induces glioma rejection in the brain predominantly by CD8+ T cells and independently of interferon-gamma. J Neuropathol Exp Neurol. 2009; 68(5): 525-34.

18. Okada H, Giezeman-Smits KM, Tahara H, Attanucci J, Fellows WK, Lotze MT, et al. Effective cytokine gene therapy against an intracranial glioma using a retrovirally transduced IL-4 plus HSVtk tumor vaccine. Gene Ther. 1999; 6(2): 219-26.

19. Schneider T, Becker A, Ringe K, Reinhold A, Firsching R, Sabel BA. Brain tumor therapy by combined vaccination and antisense oligonucleotide delivery with nanoparticles. J Neuroimmunol. 2008; 195(1-2): 21-7.

20. Bahrami AA, Ghaemi A, Tabarraei A, Sajadian A, Gorji A, Soleimanjahi H. DNA vaccine encoding HPV-16 E7 with mutation in L-Y-C-Y-E pRb-binding motif induces potent anti-tumor responses in mice. J Virol Methods. 2014; 206: 12-8.

21. Naumann U, Maass P, Gleske AK, Aulwurm S, Weller M, Eisele G. Glioma gene therapy with soluble transforming growth factor-beta receptors II and III. Int J Oncol. 2008; 33(4): 759-65.

22. Biglari A, Bataille D, Naumann U, Weller M, Zirger J, Castro MG, et al. Effects of ectopic decorin in modulating intracranial glioma progression in vivo, in a rat syngeneic model. Cancer Gene Ther. 2004; 11(11): 721-32.

23. De Bonis P, Albanese A, Lofrese G, de Waure C, Mangiola A, Pettorini BL, et al. Postoperative infection may influence survival in patients with glioblastoma: simply a myth? Neurosurgery. 2011; 69(4): 864-8; discussion 868-9.

24. Dillman RO, Duma CM, Ellis RA, Cornforth AN, Schiltz PM, Sharp SL, et al. Intralesional lymphokine-activated killer cells as adjuvant therapy for primary glioblastoma. J Immunother. 2009; 32(9): 914-9.

25. Tsuboi K, Saijo K, Ishikawa E, Tsurushima H, Takano S, Morishita Y, et al. Effects of local injection of ex vivo expanded autologous tumor-specific T lymphocytes in cases with recurrent malignant gliomas. Clin Cancer Res. 2003; 9(9): 3294-302.

26. Plautz GE, Barnett GH, Miller DW, Cohen BH, Prayson RA, Krauss JC, et al. Systemic T cell adoptive immunotherapy of malignant gliomas. J Neurosurg. 1998; 89(1): 42-51.

27. Yamanaka R, Homma J, Yajima N, Tsuchiya N, Sano M, Kobayashi T, et al. Clinical evaluation of dendritic cell vaccination for patients with recurrent glioma: results of a clinical phase I/II trial. Clin Cancer Res. 2005; 11(11): 4160-7.

28. Liau LM, Prins RM, Kiertscher SM, Odesa SK, Kremen TJ, Giovannone AJ, et al. Dendritic cell vaccination in glioblastoma patients induces systemic and intracranial T-cell responses modulated by the local central nervous system tumor microenvironment. Clin Cancer Res. 2005; 11(15): 5515-25.

29. Wheeler CJ, Black KL, Liu G, Mazer M, Zhang XX, Pepkowitz S, et al. Vaccination elicits correlated immune and clinical responses in glioblastoma multiforme patients. Cancer Res. 2008; 68(14): 5955-64.

30. Sampson JH, Archer GE, Mitchell DA, Heimberger AB, Herndon JE 2nd, Lally-Goss D, et al. An epidermal growth factor receptor variant III-targeted vaccine is safe and immunogenic in patients with glioblastoma multiforme. Mol Cancer Ther. 2009; 8(10): 2773-9.

www.SID.ir