

Evaluation of astaxanthin effects on the survival and proliferation of human adipose derived stem cells

Ghasemi N., PhD¹

1. Assistant Professor, Department of Anatomical Science and Molecular Biology, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author), Tel: +98-311-7929156, n_ghasemi@med.mui.ac.ir

ABSTRACT

Background and Aim: In order to enhance in vivo stem cell viability and considering similar anti-inflammatory and anti-apoptotic effects of human adipose derived stem cells (hADSCs) and astaxanthin (AST) and their ability to cross the blood-brain barrier, we investigated the effects of (AST) on hADSCs proliferation and viability to provide a supplement for cell based therapy in MS patients.

Materials and methods: After isolation of hADSCs and assessment of CD markers, they were cultured in DMEM-F12 medium in the presence of AST at various concentrations (1, 5, and 10 ng/ml) for 72 h. Finally, we assessed cell proliferation and cell viability by MTT and Tryphan Blue methods.

Results: The results revealed that a high percentage of hADSCs expressed CD90 and CD44 markers and a low percentage of them expressed hematopoietic cell markers. In addition, in the group cultured in the presence of 5 ng/ml AST the mean percentage of cell viability increased significantly compared to other groups ($p = 0.04$). Tryphan Blue results also revealed significant effect of AST on stem cell proliferation and culture of these cells in the presence of 5 ng/ml of AST, led to significant increase in the mean percentage of cell count compared to the results of the control group ($p = 0.03$).

Conclusion: Astaxanthin can increase hADSCs proliferation and survival and this agent can be used in the cell-based therapies in MS patients.

Key words: Astaxanthin, Cell proliferation, Cell survival.

Received: Apr 18, 2017 **Accepted:** Jul 15, 2017

ارزیابی اثرات آستاگزانتین بر زیست پذیری و تکثیر سلول های بنیادی مشتق از بافت چربی انسان

ناظم قاسمی^۱

۱. استادیار، گروه آناتومی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران، (مؤلف مسؤول)، تلفن ثابت: ۰۳۱-۳۷۹۲۹۱۵۶

n_ghasemi@med.mui.ac.ir

چکیده

مقدمه: به منظور افزایش زیست پذیری سلول های بنیادی در محیط درونی بدن و با توجه به اثرات مشترک ضد التهابی و ضد آپوپتوزی سلول های بنیادی مشتق از بافت چربی انسان (hADSCs) و آستاگزانتین و توانایی عبور آنها از سد خونی مغزی، در این مطالعه اثرات آستاگزانتین بر بقاء و تکثیر سلول های hADSCs با هدف دستیابی به یک مکمل در سلول درمانی بیماری MS، مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: بعد از جداسازی سلول های hADSCs و بررسی CD مارکرها، این سلول ها به مدت ۷۲ ساعت در محیط DMEM-F12 و در حضور غلظت های مختلف آستاگزانتین (1ng/ml)، (5 ng/ml) و (10 ng/ml) کشت داده شدند. نهایتاً تکثیر و زیست پذیری سلول ها با استفاده از روش های Tryphan Blue و MTT مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد که درصد بالایی از سلول های hADSCs، مارکهای CD90 و CD44 و درصد پایداری آنها مارکهای سلول های خونساز را بیان کردند. بعلاوه میانگین درصد بقاء در سلول های تیمار شده با ۵ نانوگرم آستاگزانتین در مقایسه با سایر گروه ها به صورت معنی داری افزایش یافته است ($P=0/04$). نتایج تریپان بلو هم نشان داد که آستاگزانتین اثر قابل توجهی در تکثیر سلول های بنیادی دارد و میانگین تعداد سلول ها در گروه تیمار شده با ۵ نانوگرم آستاگزانتین نسبت به گروه کنترل، به صورت معنی داری افزایش یافته است ($P=0/03$).

نتیجه گیری: آستاگزانتین توانایی افزایش بقاء و تکثیر سلول های hADSCs را دارد و از این ماده می توان در درمان های مبتنی بر سلول، در بیماری MS استفاده کرد.

واژه گان کلیدی: آستاگزانتین، تکثیر سلولی، بقای سلولی

وصول مقاله: ۹۶/۱/۲۹ اصلاحیه نهایی: ۹۶/۳/۲۳ پذیرش: ۹۶/۴/۲۴

مقدمه

اخیرا کاربرد سلول های بنیادی در درمان برخی از بیماری ها، به عنوان یک روش درمانی جدید توسط محققین مطرح شده است که می توان به پیوند سلول های بنیادی در درمان بیماری MS اشاره کرد (۱ و ۲). سلول های بنیادی خواستگاه و منشأ انواع سلول ها در بدن می باشند و از جمله ویژگی های مهم این سلول ها می توان به توانایی تکثیر بالا (۳) و قابلیت تمایز به رده های مختلف سلولی (۵ و ۴) اشاره کرد. اخیرا بافت چربی به عنوان یک منبع مناسب از سلول های بنیادی برای درمان مبتنی بر سلول مورد توجه قرار گرفته است، چرا که سلول های بنیادی موجود در این بافت را می توان به مقدار کافی و با حداقل دستکاری های جراحی جداسازی کرد (۶). توانایی تمایز بالای این سلول ها به انواع سلول ها بویژه سلول های عصبی در شرایط آزمایشگاهی به اثبات رسیده است (۷ و ۸). اما بررسی های سلولی بعد از پیوند این سلول ها در مدل های حیوانی بیماری MS نشان داده است که تنها درصد کمی از سلول های پیوند شده به سلول های سازنده ی میلین تمایز پیدا کرده اند (۱). بنابراین استفاده از مکمل دیگری که بتواند نتایج پیوند سلولی را بهبود ببخشد به نظر ضروری می رسد. آستاگزانتین (Astaxanthin) یک کاروتنوئید گزانتوفیل است که در انواع مختلفی از میکروارگانیسم ها و حیوانات دریایی یافت می شود و اثرات بیولوژیکی قوی تری نسبت به سایر کاروتنوئیدها دارد (۹). جلبک ها، مخمر، قزل آلا، میگو از جمله منابع طبیعی آستاگزانتین می باشند (۱۳-۱۰). خاصیت آنتی اکسیدانی آستاگزانتین ده برابر بیشتر از بتا کاروتن ها، lutein، canthaxanthin، zeaxanthin و صد برابر بیشتر از ویتامین E (آلفا-توکوفرول) می باشد (۱۴). در مطالعات مختلف اثرات ضد التهابی، آنتی اکسیدانی و ضد آپوپتوزی آستاگزانتین مورد بررسی قرار گرفته است (۱۶ و ۱۵). این ترکیب اثرات حفاظتی در برابر صدمات اولیه مغز، از طریق سرکوب التهابات مغزی را از

خود نشان داده است و تخریب عصبی و سدخونی مغزی، ادم مغزی و اختلال در عملکرد عصبی تماما بعد از مصرف آستاگزانتین کاهش پیدا کرده است (۱۷). معمولا در سلول درمانی به منظور حمایت و پیشبرد تمایز سلول های پیوند شده از فاکتور های نوروتروفیک استفاده می شود. این فاکتور های پروتئینی نقش مهمی در جلوگیری از مرگ نورونی، بقاء و پیشرفت تمایز نورونی، تنظیم انتشار نوروترانسمیترها، رشد دندریت ها، نگهداری و محافظت از آکسون ها، کنترل شرایط پاتولوژیک (درد، پرخاشگری، افسردگی) و بهبود عملکرد های رفتاری اجتماعی داشته و مطالعات نشان می دهند که استفاده از این فاکتور بعد از آسیب های عصبی از دژنراسیون نورونی جلوگیری می کند (۲۱-۱۸). صرفنظر از هزینه های بالای تهیه ی این فاکتور ها، به دلیل نیمه عمر کوتاه فاکتورهای نوروتروفیکی، در صورتیکه بتوان از عوامل نوروتروفیک دیگری استفاده کرد می توان با صرف هزینه های کمتر، کارایی سلول درمانی را افزایش داد. لذا با تکیه بر توانایی عبور سلول های hADSCs و آستاگزانتین از سد خونی مغزی، در صورتیکه آستاگزانتین در تکثیر و بقاء سلول های hADSCs تاثیر داشته باشد، از این ترکیب می توان برای افزایش کارایی پیوند سلول های hADSCs در درمان بیماری MS بهره برد.

روش بررسی

جداسازی و کشت سلولهای بنیادی مشتق از بافت

چربی انسان

این مطالعه از نوع تجربی می باشد که در آن به منظور جداسازی hADSCs پس از اخذ رضایت، چربی زیر پوستی ناحیه شکم افرادی که برای عمل لیپوساکشن به بیمارستان مراجعه کرده بودند، برداشته شد و بعد از شستشو با محلول PBS، تجزیه مکانیکی و آنزیمی با استفاده از آنزیم کلاژناز I با غلظت ۰/۰۷۵ درصد انجام شد. در ادامه

دستگاه فلوسیتومتر (Becton-Dickinson, San Jose, CA) مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی میزان زنده مانی سلولی با روش MTT به منظور بررسی و مقایسه زیست پذیری سلول ها، تعداد 4×10^4 سلول از پاساژ سوم در چهار گروه شامل گروه کنترل، گروه تیمار شده با ۱ نانوگرم AST، گروه تیمار شده با ۵ نانوگرم AST و گروه تیمار شده با ۱۰ نانوگرم AST قرار گرفت و در شرایط استاندارد و با استفاده از محیط کشت DMEM-F12 به مدت ۷۲ ساعت کشت داده شد. بعد از این دوره زمانی محیط کشت سلولهای هر چهار گروه تخلیه شد و مدیوم به همراه محلول MTT (5mg/ml) (به نسبت یک به ده) به چاهک ها اضافه گردید و در شرایط استاندارد به مدت ۴ ساعت نگهداری شد. بعد از تخلیه مدیوم، ۴۰۰ میکرولیتر (Dimethyl Sulphoxide) DMSO به چاهک ها اضافه شد و عمل پیت سلولی انجام شد. در نهایت جذب نوری هر نمونه با استفاده از دستگاه الایزا مشخص شد. لازم به ذکر است که این تکنیک سه بار تکرار شد و نتایج حاصله به شکل میانگین گزارش گردید.

شمارش سلولی با استفاده از روش تریپان بلو تعداد 4×10^4 سلول بنیادی در چهار گروه و با دوز های مختلف AST به مدت ۷۲ ساعت و در شرایط استاندارد کشت داده شدند. شمارش سلولی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از زمان اولیه با کمک لام ثوبار و رنگ آمیزی تریپان انجام شد. میانگین سلول ها بعد از سه بار تکرار برای هر نمونه مشخص و گزارش گردید.

آنالیز آماری داده ها

داده های بدست آمده دارای توزیع نرمال بودند و با استفاده از نرم افزار SPSS و با کمک آزمون آنالیز واریانس یکطرفه مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج حاصله بصورت $\text{Mean} \pm \text{SE}$ گزارش گردید و P-Value کمتر از ۰/۰۵ معنی دار در نظر گرفته شد.

سوسپانسیون بدست آمده سانتریفوژ شد و بعد از حذف محیط رویی، رسوب سلولی موجود در کف لوله سانتریفوژ در محیط کشت DMEM-F12 حل شد و نهایتاً سوسپانسیون سلولی در فلاسک های ویژه کشت سلولی و در شرایط استاندارد (37°C و 5% CO₂) کشت داده شدند.

تکنیک های ایمونوسیتوشیمی و فلوسیتومتری جهت بررسی مارکرهای سطحی سلولهای بنیادی مشتق از بافت چربی

به منظور بررسی CD مارکرهای ویژه سلول های hADSC، از سلول های کشت داده شده در پاساژ سوم استفاده شد. به منظور انجام تکنیک ایمونوسیتوشیمی، بعد از شستشوی hADSC با محلول BSA/PBS، در شرایط تاریکی و دمای ۴°C آنتی بادی ویژه مارکرهای سطحی سلول ها شامل Anti- CD90, CD44, CD14, and CD45 متصل به رنگ فلورسنت به مدت ۴۵ دقیقه در مجاورت سلول ها قرار داده شد. بعد از شستشو با محلول PBS، رنگ DAPI جهت رنگ آمیزی هسته سلول ها استفاده شد. در ادامه به منظور حذف رنگ اضافی، نمونه ها سه بار با محلول PBS شستشو داده شدند و به از چسباندن لامل بر روی لام، تعداد ۲۰۰ سلول در چند فیلد و با تکرار ۳ بار برای هر نمونه با کمک میکروسکوپ فلورسنس (مدل BX51، ژاپن) شمارش شد و میانگین درصد سلول های بیان کننده هر مارکر گزارش شد. در ادامه تکنیک فلوسیتومتری به منظور تایید نتایج ایمونوسیتوشیمی انجام شد. به این منظور سلول های بنیادی پاساژ سوم با استفاده از آنزیم تریپسین از کف فلاکس ها جداسازی شدند و بعد از شستشوی سلول ها با استفاده از محلول PBS، تعداد 10^4 سلول در معرض آنتی بادی های Anti- CD90, CD44, CD14, and CD45 متصل به رنگ فلورسنت به مدت ۳۰ دقیقه بر روی یخ قرار داده شدند. در پایان نمونه ها سه بار با محلول PBS شستشو داده شدند و نهایتاً با استفاده از

یافته ها

مورفولوژی سلولهای بنیادی مشتق از بافت چربی ۴۸ ساعت بعد از قرار دادن سوسپانسیون سلولی در فلاسک های کشت، سلول های بنیادی به ته فلاسک ها چسبندگی پیدا کردند. با گذشت زمان تغییر مورفولوژی سلولی از حالت گرد به حالت دوکی شکل شدن مشاهده گردید (شکل الف-۱). جهت تیمار سلولی با AST، از سلول های پاساژ سوم به لحاظ داشتن ظاهری نسبتاً یکنواخت استفاده شد.

تکنیک ایمونوسیتوشیمی و فلوسیتومتری جهت بررسی

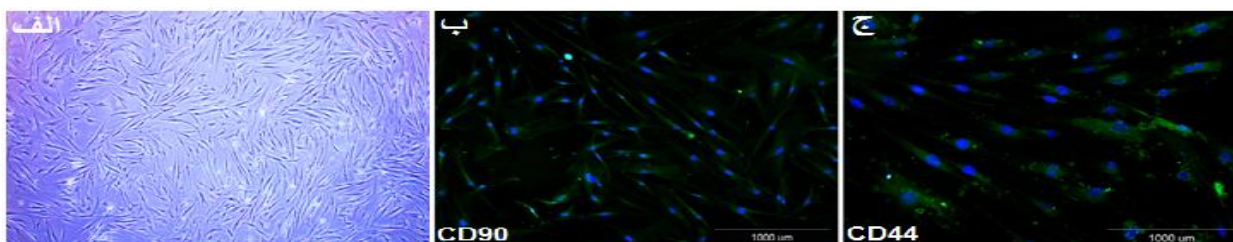
مارکرهای سطحی سلول ها بنیادی

نتایج بررسی مارکرهای سطحی سلول های بنیادی با استفاده

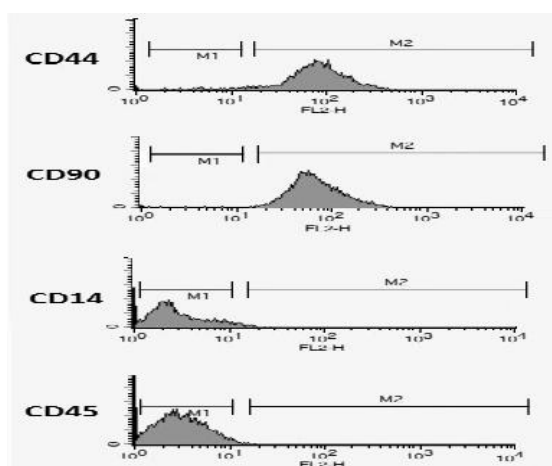
از فلوسیتومتری نشان داد که حدود ۹۶/۵ درصد از سلول

های hADSCs مارکر CD90، حدود ۹۴ درصد از آنها مارکر CD44، ۲ درصد مارکر CD14 و تنها ۱٫۵ درصد از آنها مارکر CD45 را بیان کردند. (شکل ب-۱ و ج-۱، شکل ۲).

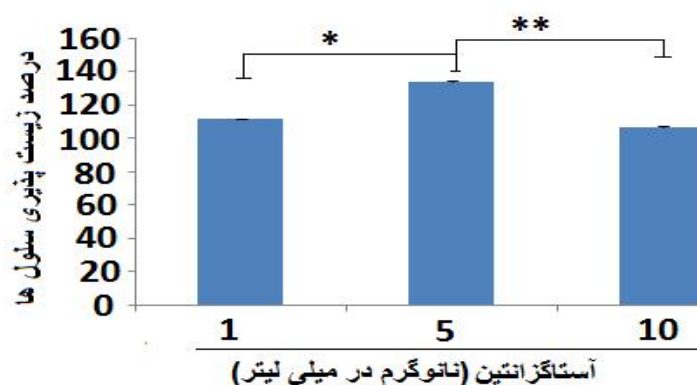
MTT و زیست پذیری سلول های بنیادی
میانگین درصد بقاء سلولی ۷۲ ساعت بعد از تیمار کردن سلول ها با AST، با تکنیک MTT بررسی شد و نتایج حاصله نشان داد که میانگین درصد زیست پذیری سلول های تیمار شده با ۵ نانوگرم AST ($134 \pm 0/35$) در مقایسه با سلول های تیمار شده با ۱ نانوگرم AST ($111/5 \pm 0/21$) و ۱۰ نانوگرم AST ($107 \pm 0/10$) به صورت معنی داری افزایش پیدا کرده است (نمودار ۱) ($P=0/04$).



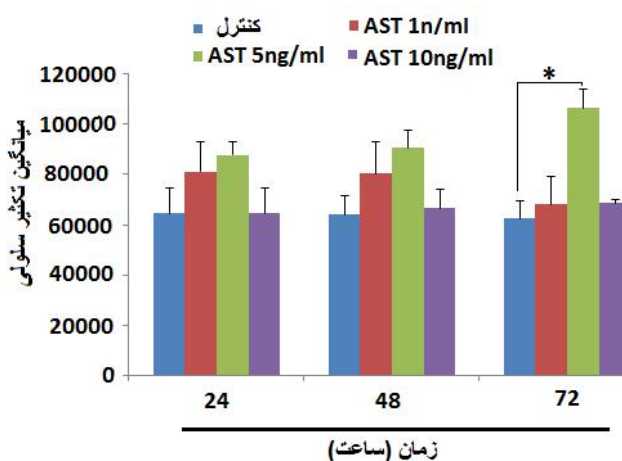
شکل ۱: تصاویر میکروسکوپ فازکتر است و فلورسنتس از مورفولوژی سلولی و بیان مارکرهای سطحی ویژه سلول های بنیادی. (الف) سلول های بنیادی در پاساژ سوم با مورفولوژی سلول های فیروبیلاست با بزرگنمایی $\times 40$ ، (ب) بیان مارکر سطحی CD90 و (ج) بیان مارکر سطحی CD44 در سلول های بنیادی.



شکل ۲: تصاویر فلوسیتومتری و بیان مارکرهای سطحی ویژه سلول های بنیادی. درصد بالایی از سلول های hADSCs مارکرهای CD90، و CD44، و درصد پایینی از آنها مارکرهای CD14 و CD45 را بیان کردند.



نمودار ۱: مقایسه ی میانگین درصد قابلیت زیست پذیری سلولها در گروه های تیمار شده با آستاگزانتین. میانگین درصد بقاء در سلول های تیمار شده با ۵ نانوگرم آستاگزانتین در مقایسه با سایر گروه ها به صورت معنی داری افزایش یافته است ($P=0.04$).



نمودار ۲: مقایسه ی میانگین درصد تکثیر سلولهای بنیادی با روش تریپان بلو. آستاگزانتین در همه ی گروه ها باعث افزایش میانگین تعداد سلول های بنیادی شده است که در گروه تیمار شده با ۵ نانوگرم نسبت به گروه کنترل، به صورت معنی داری افزایش یافته است ($P=0.03$).

بحث

در پژوهش حاضر اثرات آستاگزانتین بر تکثیر و زیست پذیری سلول های hADSCs مورد بررسی قرار گرفته است. سلول درمانی معمولاً با هدف جایگزین کردن سلول های آسیب دیده در بدن انجام می شود. علاوه بر این توانایی عبور سلول ها از سد خونی مغزی جهت درمان برخی از بیماری ها نظیر بیماری MS نباید نادیده گرفته شود. بنابراین نوع سلول استفاده شده به لحاظ داشتن قدرت کافی برای تکثیر و تمایز به رده سلولی مورد نظر، بسیار مهم

روش تریپان بلو و شمارش سلولی

نتایج حاصله از روش تریپان بلو نشان داد که آستاگزانتین اثر قابل توجهی در تکثیر سلول های بنیادی دارد به شکلی که میانگین تعداد سلول ها در همه گروه های تیمار شده با AST نسبت به گروه کنترل افزایش داشته است. به علاوه ۷۲ ساعت بعد از تیمار کردن سلول ها، تعداد سلول ها در گروه ۵ نانوگرم آستاگزانتین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی داری داشت ($P=0.03$) (نمودار ۲).

باعث افزایش زیست پذیری سلولی شود. در راستای این نتایج، Jang و همکاران در مطالعه‌ی خود نشان دادند که آستاگزانتین با مهار بیان ژن‌های درگیر در آپاپتوز سلولی و کاهش استرس‌های اکسیداتیو می‌تواند باعث افزایش زیست پذیری سلولی شود (۲۷).

با تکیه بر توانایی عبور سلول‌های hADSCs از سد خونی مغزی پیوند موفقیت آمیز این سلول‌ها در مدل‌های حیوانی برخی بیماری‌ها نظیر بیماری MS انجام شده است (۱۹ و ۱). با این حال، نتایج این مطالعات نشان داده است که تمایز سلول‌های پیوند شده به سلول‌های میلین‌ساز در حد مطلوب نمی‌باشد. آپاپتوز سلولی و یا پتانسیل تکثیر پایین سلول‌های پیوند شده در شرایط درونی بدن از جمله فرضیه‌هایی است که می‌توان در توجیه عدم کفایت پیوند سلولی به آن اشاره کرد. با توجه به مطالب بالا، استفاده از ماده‌ای دیگر به عنوان مکمل جهت افزایش کارایی پیوند سلول‌های hADSCs به نظر ضروری می‌رسد. آستاگزانتین به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی بالا و اثرات ضد التهابی، ضد آپاپتوزی (۱۶ و ۱۵) به نظر مکمل مناسبی برای سلول‌های hADSCs می‌باشد. این ماده مشابه با سلول‌های hADSCs توانایی عبور از سد خونی مغزی را دارد (۱۵ و ۲۵) و همانطوری که دیده شد می‌تواند بر تکثیر و قابلیت زیست پذیری این سلول‌ها اثر مثبت داشته باشد. لذا استفاده از آن می‌تواند کارایی پیوند سلول‌های hADSCs را در درمان بیماری MS افزایش دهد. در مجموع با توجه به فعالیت ضد آپاپتوزی (۲۸ و ۱۶)، ضد التهابی (۲۹ و ۱۷) و توانایی عبور از سد خونی مغزی (۳۰ و ۲۲) که از جمله ویژگی‌های مشترک ما بین سلول‌های hADSCs و آستاگزانتین می‌باشند می‌توان گفت که احتمالاً استفاده از آستاگزانتین به همراه پیوند سلول‌های hADSCs باعث بهبود نتایج سلول درمانی در بیماری MS خواهد شد.

می‌باشد. همانطوری که در شکل ۱ دیده می‌شود سلول‌های hADSCs ظاهر شبه فیروبلست دارند و مارکرهای ویژه سطحی را در سطح بالایی بیان کردند. بعلاوه بیان مارکرهای ویژه سلول‌های خونی در سطح پایین بود و این نتایج در راستای مطالعات قبلی می‌باشد (۲۲ و ۷). نتایج تکنیک تریپان بلو نشان داد که سلول‌های hADSCs در گروه کنترل در طول مطالعه قدرت تکثیر سلولی را حفظ کرده‌اند. بعلاوه در گروه‌هایی که hADSCs تحت تاثیر آستاگزانتین قرار گرفتند تکثیر سلولی نسبت به گروه کنترل افزایش پیدا کرد که این افزایش در گروه تیمار شده با ۵ نانوگرم آستاگزانتین نسبت به گروه کنترل از لحاظ آماری متفاوت بود. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی همخوانی ندارد (۲۴ و ۲۳). در این مطالعات آستاگزانتین در دوز ۱۰ نانوگرم در میلی لیتر باعث افزایش تکثیر و بقا سلول‌های بنیادی نوروئی و پیش ساز نوروئی شده است. از جمله فرضیه‌هایی که می‌توان در توجیه این تفاوت بیان کرد آن است که سلول‌های hADSCs برخلاف سلول‌های بنیادی نوروئی توانایی بالایی در ترشح انواع مختلف فاکتورهای رشد را دارند (۲۵). این فاکتورها می‌توانند با اثر بر مکانیسم‌های درون و برون سلولی درگیر در بیان ژن‌های درگیر در سیکل سلولی، تکثیر و زیست پذیری سلولی را تحت تاثیر قرار دهند. در راستای نتایج مطالعه حاضر، Jeong-Hwan Kim و همکاران در مطالعه‌ی خود نشان دادند که آستاگزانتین از طریق فعال کردن مسیرهای ملکولی phosphatidylinositol 3-kinase و Mitogen-activated protein/extracellular signal-regulated kinase می‌تواند باعث افزایش تکثیر سلول‌های پیش ساز عصبی شود (۲۶).

علاوه بر افزایش تکثیر سلولی، نتایج MTT هم نشان داد که آستاگزانتین باعث افزایش زیست پذیری سلولی می‌شود و بالاترین زیست پذیری سلول‌ها در دوز ۵ نانوگرم در لیتر آستاگزانتین می‌باشد. در توجیه آن می‌توان گفت که آستاگزانتین می‌تواند با کاهش استرس‌های اکسیداتیو

نتیجه گیری

با توجه به اثبات اثرات مفید آستاگزانتین بر افزایش بقاء و تکثیر سلول های hADSCs و با تکیه بر اثرات ضد التهابی، ضد آپوپتوزی و عبور از سد خونی مغزی مشترک ما بین سلول های hADSCs و آستاگزانتین، استفاده از آستاگزانتین می تواند باعث افزایش کارایی پیوند سلول های hADSCs در درمان بیماری MS شود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر حاصل طرح پژوهشی شماره ۱۹۴۲۶۷ مصوب معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و با کد اخلاق IR.MUI.REC.1394.1.267 می باشد که نویسنده بدینوسیله از مسئولین محترم تشکر می نماید.

Reference

- 1.Ghasemi N, Razavi S, Mardani M, Esfandiari E, Salehi H, Esfahani SH. Transplantation of human adipose-derived stem cells enhances remyelination in lysolecithin-induced focal demyelination of rat spinal cord. *Molecular biotechnology* 2014; 56: 470-8.
- 2.Ghasemi N, Razavi S, Salehi H. Improvement of myelin ultra structure after transplantation of human adipose tissue-derived stem cell in rat model of MS. *Journal of Isfahan Medical School* 2016; 33: 366.
- 3.Thomson JA, Itskovitz-Eldor J, Shapiro SS, et al. Embryonic stem cell lines derived from human blastocysts. *Science* 1998; 6;282: 1145-7.
- 4.Loh YH, Zhang W, Chen X, George J, Ng HH. Jmjd1a and Jmjd2c histone H3 Lys 9demethylases regulate self-renewal in embryonic stem cells. *Genes Dev* 2007; 21: 2545-57.
- 5.Scholer HR, The potential of stem cells: An Inventory. In Nikolaus Knoepffler, Dagmar Schipanski, and Stefan Lorenz Sorger. *Human biotechnology as social challenge*. Ashgate Publishing 2007; p.28.
- 6.Sen A, Lea-Currie Y. R, Sujkowska D. Adipogenic potential of human adipose derived stromal cells from multiple donors is heterogeneous. *J Cell Biochem* 2010; 81: 312-9.
- 7.Ghasemi N, Razavi S. Transdifferentiation potential of adipose-derived stem cells into neural lineage and their application. *Journal of Histology & Histopathology* 2014; 1: 12.
- 8.Ghasemi N, Hashemi beni B, Zarei R, Valiani A and Esfandiari E. Co Expression of CD14/45 and CD3/19 Markers is Unique Signature for Identification of Differentiated Chondrocytes from hADSC. *J Cytol Histol* 2016, 7: 403.
- 9.Higuera-Ciapara I, Felix-Valenzuela L, Goycoolea FM. Astaxanthin: A review of its chemistry and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr* 2006, 46: 185–196.
- 10.Ranga Rao A, Raghunath Reddy RL, Baskaran V, Sarada R, Ravishankar GA. Characterization of microalgal carotenoids by mass spectrometry and their bioavailability and antioxidant properties elucidated in rat model. *J. Agric. Food Chem* 2010; 58: 8553–8559.
- 11.Ranga Rao A, Sarada R, Baskaran V, Ravishankar GA. Identification of carotenoids from green alga *Haematococcus pluvialis* by HPLC and LC-MS (APCI) and their antioxidant properties. *J. Microbiol. Biotechnol* 2009; 19: 1333–1341.
- 12.Lorenz RT. A Technical Review of *Haematococcus* Algae; NatuRose™ Technical Bulletin #060; Cyanotech Corporation. Kailua-Kona, HI, USA 1999; pp. 1–12.
- 13.EFSA (European Food Safety Authority). Opinion of the scientific panel on additives and products or substances used in animal feed on the request from the European commission on the safety of use of colouring agents in animal human nutrition. *EFSA J* 2005; 291: 1–40.

- 14.Chen X, Chen R, Guo Z, Li C, Li P. The preparation and stability of the inclusion complex of astaxanthin with β -cyclodextrin. *Food Chem* 2007; 101: 1580–1584.
- 15.Shen H, Kuo CC, Chou J, et al. Astaxanthin reduces ischemic brain injury in adult rats. *FASEB J* 2009; 23: 1958–1968.
16. Yamagishi R, Aihara M. Neuroprotective effect of astaxanthin against rat retinal ganglion cell death under various stresses that induce apoptosis and necrosis. *Mol. Vis* 2014; 20: 1796–1805.
- 17.Zhang XS, Zhang X, Wu Q, et al. Astaxanthin offers neuroprotection and reduces neuroinflammation in experimental subarachnoid hemorrhage. *J. Surg. Res* 2014;192: 206–213.
- 18.Kerschensteiner M, Gallmeier E, Behrens L, Leal VV, Misgeld T, Klinkert WE. Activated human T cells, B cells, and monocytes produce brain-derived neurotrophic factor in vitro and in inflammatory brain lesions: a neuroprotective role of inflammation? *J Exp Med*. 1999. 189: 865-70.
- 19.Angelucci F, Brene S, Mathe AA. BDNF in schizophrenia, depression and corresponding animal models. *Mol Psychiatry*. 2005. 10: p. 345-52.
- 20.Sendtner M, Holtmann B, Kolbeck R, Thoenen H, Barde YA. Brain-derived neurotrophic factor factor prevents the death of motoneurons in newborn rats after nerve section. *Nature*.1992. 6406: 757-9.
- 21.Blesch A, Tuszynski MH. Cellular GDNF delivery promotes growth of motor and dorsal column sensory axons after partial and complete spinal cord transections and induces remyelination. *J Comp Neurol*.2003. 467:403-17.
22. Razavi S, Jahromi M, Amirpour N and Khosravizadeh Z. Effect of sertraline on proliferation and neurogenic differentiation of human adipose-derived stem cells. *Adv Biomed Res* 2014; 3:97.
- 23.Kim JH, Nam SW, Kim BW, et al. Astaxanthin improves stem cell potency via an increase in the proliferation of neural progenitor cells. *International journal of molecular sciences* 2010; 11: 5109-19.
- 24.Haddad-Mashadrizeh A, Bahrami AR, Matin MM, Edalatmanesh MA, Zomorodipour A, Fallah A, Gardaneh M, Kia NA, Sanjarmooosavi N. Evidence for crossing the blood barrier of adult rat brain by human adipose-derived mesenchymal stromal cells during a 6-month period of post-transplantation. *Cytotherapy* 2013; 15: 951-60.
- 25.Ying CJ, Zhang F, Zhou XY, et al. Anti-inflammatory Effect of Astaxanthin on the Sickness Behavior Induced by Diabetes Mellitus. *Cell. Mol. Neurobiol* 2015; doi:10.1007/s10571-015-0197-3.
- 26.Kim JH, Nam SW, Kim BW, Choi W, Lee JH, Kim WJ, et al. Astaxanthin improves stem cell potency via an increase in the proliferation of neural progenitor cells. *International journal of molecular sciences* 2010;11:5109-19.
- 27.Jang HY, Ji SJ, Kim YH, Lee HY, Shin JS, Cheong HT, et al. Antioxidative Effects of Astaxanthin against Nitric Oxide-Induced Oxidative Stress on Cell Viability and Gene Expression in Bovine Oviduct Epithelial Cell and the Developmental Competence of Bovine IVM/IVF Embryos. *Reproduction in domestic animals* 2010;45:967-74.
- 28.Rehman J, Traktuev D, Li J, Merfeld-Clauss S, Temm-Grove CJ, Bovenkerk JE, Pell CL, Johnstone BH, Considine RV and March KL. Secretion of angiogenic and antiapoptotic factors by human adipose stromal cells. *Circulation* 2004; 109: 1292-8.

29. Ghasemi N. Therapeutic effects of adipose derived mesenchymal stem cells on remyelination process in inflammatory demyelinating diseases. *Journal of Histology & Histopathology* 2015; 2: 8.
30. Kim JH, Nam SW, Kim BW, Kim WJ, Choi YH. Astaxanthin improves the proliferative capacity as well as the osteogenic and adipogenic differentiation potential in neural stem cells. *Food and Chemical Toxicology* 2010; 48: 1741-5.