


Differentiation of Mouse Induced Pluripotent Stem Cells (miPSCs) Into Male Germ Cells (mGCs) By Retinoic Acid and Testosterone

ARTICLE INFO

Article Type

Original article

Authors

Javad Amini Mahabadi^{1,2,3},  PhD
Alireza Amini Mahabadi⁴, MD
Mojgan Faghihi¹, MD

Hossein Nikzad⁵,  PhD
Abolfazl Aazami Tameh^{6*},  PhD

¹ Sarem Fertility and Infertility Research Center (SAFIR), Sarem Women's Hospital, Iran University of Medical Science (IUMS), Tehran, Iran.

² Sarem Cell Research Center (SCRC), Sarem Women's Hospital, Iran University of Medical Sciences (IUMS), Tehran, Iran.

³ PhD of reproductive biology, Gametogenesis Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran.

⁴ Responsible for administrative affairs, Payame Noor University, Ardestan, Isfahan, Iran.

⁵ Full professor of Anatomical science, Gametogenesis Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran.

⁶ Full professor of Anatomical science, Anatomical Science Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran.

*Corresponding Author

Address: Full professor of Anatomical science, Anatomical Science Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran.
abolfazl1980@gmail.com

Article History

Received: May 07, 2021

Accepted: June 18, 2021

e Published: December 20, 2021

ABSTRACT

Introduction: Donation of sex-specific cells or production of germ cells through germ cells and preparation of the source of these cells by using embryonic stem cells and induced pluripotent stem cells are considered as methods for treating azoospermia, even in the absence of spermatogonia stem cells. The aim of the present study was to investigate the effect of retinoic acid and testosterone on the differentiation of mouse-induced pluripotent stem cells into male germ cells.

Material and methods: Inactivated mouse embryonic fibroblast cells (MEFs) were used as feeding cells for mouse-induced pluripotent stem cells (miPSCs). These stem cells were transformed into embryoid bodies (EBs). Four groups including control, retinoic acid (RA), testosterone (T), and the combined group of retinoic acid with testosterone (RA+T) were adjusted at intervals of days 0, 4, and 7. The target genes were Stra8 (Stimulated by Retinoic Acid 8), Ddx4 (DEAD-Box Helicase 4), and AKAP3 (A-Kinase Anchoring Protein 3), and their expression was assessed by the Real-Time PCR technique. Statistical data were analyzed by SPSS software, one-way ANOVA, and Tukey test with a P-value of <0.05 regarded as significant.

Results: The data showed that the expression of Stra8 gene on day 0 in RA group had a significant increase compared to T group (P<0.05) and a non-significant increase compared to the control group. Also, a significant increase was observed in RA+T group compared to the control group, as well as the T group (P<0.001). Ddx4 gene expression was not significantly different for different days and groups. The expression of AKAP3 gene was significantly increased between T and RA group on day 4 (P<0.01), but the expression was decreased between group T and RA+T group (P<0.01). On day 7, the expression of this gene was significantly different between RA+T, control, T, and RA groups (P<0.0001).

Conclusion: Control of differentiation of induced pluripotent stem cells (miPSCs) in mouse is very difficult and in this study, the role of testosterone in vitro, in this differentiation process was carefully investigated. For the testosterone-treated group, it was shown that the combined effect of testosterone with retinoic acid enhances the differentiation process.

Keywords: Infertility; Induced Pluripotent Stem Cells; Germ Cells; Testosterone; Retinoic Acid.

رتینوئیک اسید (RA)، تستوسترون (T) و گروه ترکیبی رتینوئیک اسید به همراه تستوسترون (RA+T) در بازه‌های زمانی روزهای صفر، ۴ و ۷ تنظیم شد. ژن های مورد نظر (Stra8 (Stimulated by Retinoic Acid 8، AKAP3 (A-Kinase و Ddx4 (DEAD-Box Helicase 4) Anchoring Protein 3) Real Time PCR بررسی گردید. داده‌های آماری با نرم افزار SPSS و One-Way ANOVA و آزمون Tukey و با سطح معنی دار بودن $P < 0.05$ آنالیز شدند. **یافته ها:** داده‌ها نشان داد که بیان ژن *Stra8* در روز صفر و در گروه RA نسبت به گروه T افزایش معنی داری دارد ($P < 0.05$) و نسبت به گروه RA+T کنترل نیز افزایش داشت ولی معنی دار نبود. همچنین، بین گروه RA+T و گروه کنترل و نیز این گروه و گروه T افزایش معنی داری مشاهده شد ($P < 0.001$). بیان ژن *Ddx4* در تمامی روزها و در تمامی گروه‌ها هیچ تفاوت معنی داری نداشت. بیان ژن *AKAP3* هم در روز ۴، بین گروه T و RA افزایش معنی داری دیده شد ($P < 0.01$)؛ اما، بین گروه T و گروه RA+T میزان بیان کاهش یافت ($P < 0.01$). این ژن در روز ۷ بین گروه RA+T نسبت به گروه کنترل، T و RA اختلاف معنی دار بود ($P < 0.001$). **نتیجه‌گیری:** کنترل تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش (miPSCs) بسیار سخت است و در این مطالعه، نقش هورمون تستوسترون در شرایط آزمایشگاهی و در این فرآیند تمایز با دقت بررسی شد. برای گروه تیمار شده با تستوسترون نشان داده شد که اثر ترکیبی این هورمون با رتینوئیک اسید می‌تواند روند تمایزی را تقویت نماید.

کلید واژه‌ها: ناباروری؛ سلول‌های بنیادی پرتوان القایی؛ سلول‌های زایا؛ تستوسترون؛ رتینوئیک اسید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۸

*نویسنده مسئول: ابوالفضل اعظمی طامه

مقدمه

ناباروری ۱۰ الی ۱۵ درصد زوج‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد که در حال حاضر درمان‌های ناباروری محدود هستند. امروزه برای توسعه و گسترش تعداد سلول زایا و یا بازسازی ارگان‌های تولیدمثلی، بایستی درک عمیقی از بیولوژی اندام تولیدمثلی از جمله بیضه و تخمدان داشت^[۱]. تعداد کم و کیفیت پائین اسپرم و عارضه آزواسپرمی^۱ یکی از فاکتورهای مهم در نقص عملکرد و کاهش تحرک اسپرم، که امروزه توجه محققین زیادی را به خود جلب کرده است، می‌باشد^[۲]. آزواسپرمی در ۱۰ تا ۱۵ درصد

تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش (miPSCs) به سمت سلول‌های زایای نر (mGCs) توسط رتینوئیک اسید و تستوسترون

چوادی امینی مهابادی^{۱،۲،۳}، علیرضا امینی مهابادی^۴، مژگان فقیهی^۱، حسین نیک زاده^۵، ابوالفضل اعظمی طامه^{۶*}

- ۱ مرکز تحقیقات باروری و ناباروری صرم، بیمارستان فوق تخصصی صرم، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
- ۲ پژوهشکده سلولی و مولکولی و سلول‌های بنیادی صرم، بیمارستان فوق تخصصی صرم، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
- ۳ دکتری تخصصی بیولوژی تولیدمثل؛ مرکز تحقیقات گامتوژنیزس دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران.
- ۴ مسئول امور اداری، دانشگاه پیام نور، اردستان، اصفهان، ایران.
- ۵ استاد تمام؛ مرکز تحقیقات گامتوژنیزس دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران.
- ۶ استاد تمام؛ مرکز تحقیقات آناتومی؛ دانشگاه علوم پزشکی کاشان، بلوار قطب راوندی، کاشان.

چکیده

مقدمه: اهدای سلول جنسی و یا تولید سلول‌های جنسی از طریق سلول‌های زایا و تهیه منبع این سلول‌ها از طریق سلول‌های بنیادی جنینی و سلول‌های بنیادی پرتوان القایی، روش‌هایی برای درمان آزواسپرمی، که حتی فاقد سلول‌های بنیادی اسپرماتوگونی می‌باشند، در نظر گرفته می‌شود. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر رتینوئیک اسید و تستوسترون بر تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش به سمت سلول‌های زایای نر می‌باشد.

مواد و روش‌ها: از سلول‌های فیبروبلاست جنینی موش (MEFs) به عنوان بستری از سلول‌های تغذیه کننده برای سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش (miPSCs) استفاده و غیر فعال گردیدند. سلول‌های بنیادی مورد نظر به اجسام امبریوئیدی (EBs) تبدیل شدند. چهار گروه شامل کنترل،

^۱ Azoospermia

۲می‌باشد که در رشد و تمایز جنین انسان و سایر طنابداران دارای نقش عملکردی مهمی است [۱۷]. رتینوئیک اسید می‌تواند اسپرماتوزنیز را [۱۳] بهبود بخشد و بیان کم ژن در بیضه‌های نر را از طریق ژن‌های اصلی شروع کننده میوز بعد از تولد القا کند [۱۸]. هورمون‌های استروئیدی تنظیم کننده فرآیندهای فیزیولوژیکی از قبیل تولیدمثل، تمایز، رشد و نمو و هموستازی بدن هستند. این هورمون‌ها اثرات خود را با باند شدن به گیرنده‌های درون سلولی نشان می‌دهند. فعالیت این هورمون‌ها توسط پیامبرهای ثانویه درون سلولی و یا آبشارهای انتقال سیگنالی انجام می‌شود [۱۹]. تستوسترون یکی از هورمون‌های جنسی مردانه است که متعلق به گروه آندروژن‌ها می‌باشد. این هورمون نقش مهمی در نمو سیستم تولیدمثلی مردان و خصوصیات ثانویه جنسی دارد [۲۰، ۲۱]. انتقال سلول‌های لایدیگ [۴] تمایز یافته از سلول‌های بنیادی ممکن است برای درمان هایپوگونادیزم مردان موثر باشد. به علت اینکه بقای iPSCs کم است بنابراین بایستی شرایطی فراهم گردد تا قدرت تمایزی آن‌ها افزایش یابد. در نتیجه با توجه به نقش این هورمون‌های استروئیدی به خصوص تستوسترون در روند تمایزی iPSCs به سلول‌های زایا، هدف از این مطالعه، ارزیابی نقش این هورمون بر تمایز miPSCs به سلول‌های شبه زایای نر [۵] در شرایط آزمایشگاهی بود.

مواد و روش‌ها

رعایت اصول اخلاقی

فرآیندهای آزمایشگاهی و حمایت از حیوانات دقیقاً بر اساس کد اخلاقی دانشگاه علوم پزشکی کاشان، ایران رعایت گردید [۶].

استخراج و غیر فعال سازی سلول‌های فیبروبلاست جنین موش

پس از جدا کردن کبد و سر جنین‌های موش در روز ۱۳،۵ پس از آبستنی (منظور از روز ۵،۰، مدت ۱۲ ساعت بعد از تزریق هورمون hCG و مشاهده پلاک واژینال است که ۱۳ روز بعد سلول‌های فیبروبلاست جنینی قابل استفاده می‌باشد)، بدن به قطعات کوچک‌تر تقسیم شد. قطعات از نیدل ۱۸ عبور داده شدند و به فلاسک ۷۵ به همراه محیط DMEM با گلوکز بالا [۷] منتقل داده شدند. پس از یک روز، باقیمانده‌ها برداشته شده و با محیط کشت جدید شامل پنی‌سیلین/استرپتومایسین یک درصد [۸] و سرم جنین گاوی ۱۲ درصد [۹] تغییر یافت. سلول‌های فیبروبلاست جنین موش [۵] در پاساژ سوم به عنوان بستر تغذیه کننده به کار گرفته شدند. سپس، برای

مردان نابارور وجود دارد و یک درصد از جمعیت کل این مردان را به خود اختصاص می‌دهد [۲]. آژواسپرمیای غیر انسدادی که در نتیجه نقص بیضوی ایجاد می‌گردد، در حدود ۱۰ درصد از مردان نابارور را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و در ۶۰ درصد از مردان آژواسپرمیا تشخیص داده می‌شود [۴]. در طی چند سال گذشته، استفاده از سلول‌های بنیادی توانسته است بیماری‌هایی که دچار ناهنجاری‌های ژنتیکی و القایی و بیماری‌هایی از قبیل آژواسپرمی هستند، را درمان کنند [۵]. سلول‌های بنیادی قادرند تا دوباره خود را بازسازی کنند و برای درمان و بیماری‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند [۶]. سلول‌های بنیادی از هر منبعی، توانایی این را دارند تا به سلول‌های دیگر تمایز یابند و برای کشف داروها، مهندسی بافت و همچنین درمان سلولی و درمان بیماری‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند [۸]. امروزه یکی از روش‌های جدید برای درمان ناباروری انسان تولید سلول‌های پرتوان القایی [۲] از سلول‌های سوماتیک [۹] است [۹]. برنامه ریزی مجدد سلول‌های سوماتیک انسان به مرحله پرتوان شبیه سلول‌های بنیادی جنینی [۴] توسط فاکتورهای رونویسی، برای اولین بار توسط Takahashi و همکاران در سال ۲۰۰۶ مشخص گردید و نشان داده شد که این سلول‌ها می‌توانند از سلول‌های خاص خود بیمار و برای انواع متفاوت بیماری‌ها تولید گردند [۱۰]. القای پرتوانی در فیبروبلاست‌های جنین موش با ۴ فاکتور رونویسی از قبیل *SOX2*، *Oct3/4*، *KLF4* و *c-MYC* به عنوان فاکتورهای یاماناکا [۵] بدست آورده شدند [۱۱]. هم iPSCs و هم ESCs پرتوان هستند و این توانایی را دارند تا به سه لایه زایا تمایزی اولیه تمایز یابند، بنابراین تولید سالم و مناسب این سلول‌ها جهت درمان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [۱۲]. درحالی که گزارش‌هایی از کاربرد ESCs جهت درمان در مدل‌های حیوانی وجود دارند اما حداقل دو مانع برای استفاده این سلول‌ها در انسان در نظر گرفته می‌شود، اول، رد درمان به دلیل پاسخ ایمنی پس از انتقال این سلول‌ها و دوم ملاحظات اخلاقی [۱۳، ۱۴]. امروزه iPSCs این نگرانی‌ها را برطرف می‌کند زیرا این امکان وجود دارد که از سلول‌های سوماتیک خود فرد برای تولید این سلول‌ها استفاده شود و بنابراین هیچ پاسخ ایمنی وجود ندارد. همچنین، مزیت دیگر این است که iPSCs شخص بیمار می‌تواند برای تحقیقات دارویی و پزشکی مورد استفاده قرار گیرد [۱۵]. تا به حال iPSCs به سمت سلول‌های زایای بدوی [۶] گونوسایت‌ها [۷] سلول‌های بنیادی اسپرماتوگونیای [۸] اسپرماتوسایت‌ها [۹] و سلول‌های شبه اسپرماتید [۱۰] تمایز داده شده‌اند. مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹، القاء PGCs از iPSCs و ESCs را گزارش کردند [۱۶]. رتینوئیک اسید [۱] یک متابولیت ویتامین A

Induced Pluripotent Stem Cells (iPSCs) [۲]
Somatic Cell [۳]
Embryonic Stem Cells (ESCs) [۴]
Yamanaka Factors [۵]
Primordial Germ Cells (PGCs) [۶]
Gonocytes [۷]
Spermatogonial Stem Cells (SSCs) [۸]
Spermatocytes [۹]
Spermatid-like Cells [۱۰]
Retinoic Acid (RA) [۱۱]
Retinol [۱۲]

مجله تحقیقات پزشکی صرام

Spermatogenesis [۱۳]
Leydig Cells [۱۴]
Male Germ Cells (mGCs) [۱۵]
IR.KAUMS.REC.1394.150 [۱۶]
Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM), (Gibco, Cat. No. [۱۷]
41965039)
Pen/Strep (Gibco, Cat. No. 15140-148) [۱۸]
FBS (Gibco; Cat. No. 10270-106) [۱۹]
Mouse Embryonic Fibroblasts (MEFs) [۲۰]

شکل‌گیری اجسام امبروئیدی

اجسام امبروئیدی تجمعات سه بعدی از سلول‌های بنیادی پرتوان هستند. سلول‌های miPSCs درون EBs در معرض تمایز قرار می‌گیرند و تشکیل هر سه لایه جنینی از جمله اکتودروم، مزودرم و اندودرم را می‌دهند. برای انجام این کار ابتدا، فلاسک مورد نظر از انکوباتور خارج شده و فرآیند کندن این سلول‌ها انجام شد. سپس پلیت ۶ خانه غیر چسبیده^۹ در زیر هود آماده شد و مقدار ۲ میلی‌لیتر از محیط miPSCs به غیر از فاکتور تمایزی LIF افزوده شد. سپس سلول‌ها پس از اتمام سانتریفیوژ، با مقدار ۱ میلی‌لیتر از محیط جدید کامل Up&Down شد تا به صورت سلول‌های جدا از هم^{۳۰} در آیند. به هر خانه از پلیت ۶ خانه غیرچسبیده^۹ مقدار ۵×۱۰^۶ سلول بر میلی‌لیتر، در محیط کشت EBs (حاوی FBS ۱۰ درصد بدون LIF)، از سلول‌ها اضافه شدند. تا دو روز اول محیط تعویض نشد ولی روز سوم و چهارم هر روز تعویض محیط انجام شد.

سلول‌های miPSCs در محیط عاری از LIF بعد از ۴ الی ۵ روز در محیط کشت برای تشکیل اجسام امبروئیدی (EBs) غوطه ور شدند. سپس، برای تشکیل این اجسام، محیط در فواصل هر دو روز تعویض شد.

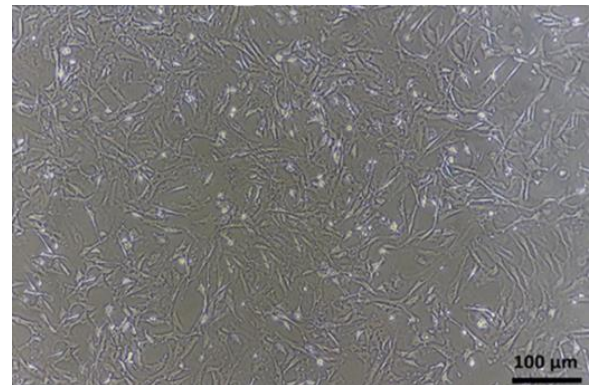
تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش به سمت سلول‌های زایای نر در شرایط آزمایشگاهی

در این مرحله، پلیت‌های معمولی ۶ خانه با ژلاتین ۰.۱ درصد آماده شدند و EBs به پلیت‌های آماده منتقل گردیدند. برای تمایز EBs مشتق شده از miPSCs به سمت سلول‌های زایای نر در شرایط *In Vitro* این سلول‌ها با مقدار یک میکرولیتر تستوسترون^{۲۲} و ۲ میکرولیتر رتینوئیک اسید^{۳۳} در بازه زمانی روزهای صفر، ۴ و ۷ درمان شدند. اجسام امبروئیدی که مورد درمان قرار نگرفتند، به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شدند. در کل گروه‌بندی این مطالعه شامل، گروه کنترل (C) (بدون تیمار)، گروه رتینوئیک اسید (RA)، گروه تستوسترون (T) و گروه ترکیبی رتینوئیک اسید به همراه تستوسترون (RA+T) بودند، که در بازه‌های زمانی صفر، ۴ و ۷ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند (شکل ۳).

استخراج RNA، سنتز cDNA و Real Time PCR

برای استخراج RNA از سلول‌های برداشت شده از کیت ترایزول^{۳۴} بر طبق دستورالعمل استفاده شد. برای سنتز cDNA با استفاده از کیت PrimeScriptTM RT^{۳۵} یک میکروگرم RNA از هر نمونه در نظر گرفته شد. تکنیک Real Time PCR (qPCR) برای بیان کمی ژن‌های *Stra8*، *Ddx4* و *AKAP3* انجام شد. مجموعه داده‌های NCBI برای استنباط کل توالی ژن‌های فوق‌الذکر مورد استفاده قرار گرفت و سپس با بهره‌گیری از

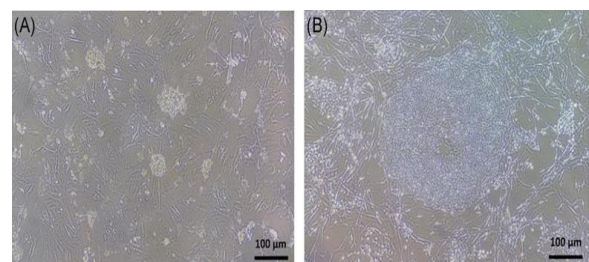
غیرفعال کردن این سلول‌ها، مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر میتومايسين C در محیط DMEM/F12 استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱. سلول‌های فیبروبلاست جنین موش به عنوان بستر تغذیه کننده

گسترش سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش

لاین miPSCs، همانطور که قبلاً مشخص و گزارش شد، از پروفیسور مسعود سلیمانی و از مرکز تحقیقات تکنولوژی سلول‌های بنیادی دریافت گردید^[۲۲]. کشت این سلول‌ها در رطوبت ۹۵ درصد، دی اکسید کربن ۵ درصد و دمای ۳۷ درجه انجام شد و بر روی لایه تغذیه کننده حاوی MEF غیرفعال شده نگهداری شدند^[۲۴،۲۳]. محیط کشت miPSCs حاوی DMEM/F12 حاوی ۲۰ درصد جایگزین سرم KnockOut^{۲۲}، ۱۰۰۰^{۲۲} واحد بر میلی‌لیتر فاکتور مهارکننده لوکمیای موشی^{۲۲}، یک میلی‌مول بر لیتر ال-گلوتامین^{۲۴}، انسولین-ترانسفرین-سلنیوم^{۲۵}، ۰.۱ میلی‌مول بر لیتر اسیدآمینوهای غیرضروری^{۲۶} و ROCK Inhibitor Y-27632^{۲۷} فقط یکبار بعد از ذوب کردن) بود. محیط هر روز تغییر کرد و کلونی‌های miPSCs هر ۴ الی ۶ روز با استفاده از آنزیم کلاژناز نوع IV^{۲۸}، ۰ درصد پاساژ داده شدند (شکل ۲).



شکل ۲. مورفولوژی miPSCs (A و B) در مدت ۶ روز کشت بر روی سلول‌های تغذیه کننده MEF

Non Adherent^{۲۹}

Single Cells^{۳۰}

Nunc, Rochester, NY^{۳۱}

Sigma, Cat. No. T6147^{۳۲}

Sigma; Cat. No. R2625-50MG^{۳۳}

TRIzol (Invitrogen, Cat. No. 15596026)^{۳۴}

Takara Bio, Shiga, Japan^{۳۵}

Mitomycin C (Sigma; Cat. No. M4287)^{۲۹}

KnockOut (Gibco; Cat. No. 10828-028)^{۲۲}

Leukemia Inhibitory Factor (LIF), (ESGRO; Gibco, Cat. No. ESG1107)^{۲۲}

L-glutamine (Gibco, Cat. No. 25030-081)^{۲۴}

Insulin-Transferrin-Selenium (ITS), (Gibco; Cat. No. 41400-045)^{۲۵}

NEAA; Gibco; Cat. No. 11140-035)^{۲۶}

Sigma; Cat. No. Y0503-1 MG)^{۲۷}

Collagenase IV (Gibco; Cat. No. 17104-019)^{۲۸}

مجله تحقیقات پزشکی صرام

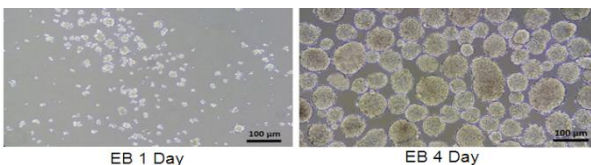
تجزیه و تحلیل آماری

تفاوت‌های آماری بین گروه‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون One Way ANOVA و آزمون تعقیبی Tukey^۹ انجام شد. تفاوت معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

تشکیل اجسام امبریوئیدی و مورفولوژی آن‌ها

در روز چهارم کلونی‌های به هم چسبیده کامل مشخص شد که در داخل محیط شناور بودند (شکل ۴). در طی این تکنیک، کلونی‌ها اندازه هم نیستند اما در تکنیک قطره‌های آویزان تمامی این کلونی‌ها هم اندازه هستند.

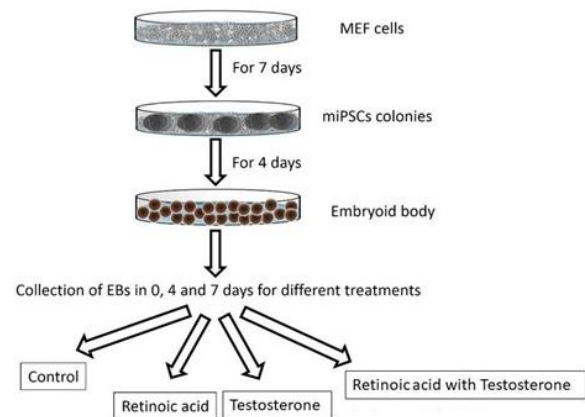


شکل ۴. شکل گیری اجسام امبریوئیدی (EBs) از سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش (miPSCs) در شرایط آزمایشگاهی (In Vitro). همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود مورفولوژی این اجسام از روز اول تا چهارم بعد از کشت با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ قابل مشاهده می‌باشد.

بررسی بیان ژن‌های خاص سلول‌های زایای نر در تمایز اجسام امبریوئیدی

ژن *Stra8* نشان دهنده توانایی سلول‌ها برای پاسخ به رتینوئیک اسید در سلول‌های زایای قبل از میوزی است و ژن *Ddx4* به عنوان یک مارکر میوزی در نظر گرفته می‌شود. ژن *AKAP3* به عنوان یک سپر فیبروزی دم اسپرم می‌باشد که در طول اسپرماتوزیس شکل می‌گیرد و به همراه *AKAP4* می‌تواند در فرآیند مورفولوژی اسپرماتید شرکت کند [۲۶،۲۵]. بیان ژن *Stra8* در روز صفر تغییرات معنی‌داری را از خود نشان داد. به این صورت که در گروه RA نسبت به گروه T افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$) و نسبت به گروه کنترل نیز افزایش داشت ولی معنی‌دار نبود. همچنین بین گروه RA+T و گروه کنترل افزایش معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.001$) و نیز بین این گروه ترکیبی و گروه T افزایش معنی‌داری دیده شد ($P < 0.001$). اما، در روزهای ۴ و ۷ و بین گروه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۵). همانطور که در شکل ۵ مشاهده شد، بیان ژن *Ddx4* در تمامی روزها و در تمامی گروه‌ها هیچ تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۵). بیان ژن *AKAP3* در روز صفر هیچ گونه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما در روز ۴، بین گروه T و RA افزایش معنی‌داری دیده شد ($P < 0.01$)، اما بین گروه T و گروه RA+T کاهش معنی‌دار

نرم افزار آنالیز Primer3، پرایمرهای خاصی طراحی شد و Blast کردن برای تعیین درصد همولوژی انجام گردید. جدول ۱، طول محصول تکثیر شده، توالی پرایمرها و دمای Annealing برای هر توالی را نشان می‌دهد. مسترمیکس qPCR شامل ۱۰ لاند SYBR Green PCR Master Mix Buffer (۲×)، یک لاند (۱۰۰ نانوگرم) نمونه ی cDNA و نیم لاند از هر پرایمر پیش‌رو و پس‌رو با حجم نهایی ۲۰ لاند تهیه شد. *GAPDH* به عنوان کنترل برای نمونه‌ها در نظر گرفته شد. برنامه qPCR بدین صورت بود ابتدا، دنانوره شدن در دمای ۹۵ درجه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. سپس، تعداد ۴۰ سیکل تکراری (دنانوراسیون در دمای ۹۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه، دمای انیلینگ در دمای X برای هر ژن به مدت ۳۰ ثانیه انجام گردید. سرانجام، گسترش یافتن ۴ ثانیه در دمای ۷۲ درجه صورت گرفت. ارزیابی سیکل آستانه ^{۳۷} محاسبه شدند. دستگاه LightCycler™ Real-Time PCR برای واکنش‌های qPCR در سه تکرار استفاده شد.



شکل ۳. طرح شماتیک زمان‌بندی تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان القایی موش (miPSCs) به سمت سلول‌های زایای نر، بر بستر سلول‌های فیبروبلاست جنین موش (سلول‌های MEF)

جدول ۱. پرایمرهای طراحی شده برای آنالیز توسط تکنیک Real Time PCR و ژن‌ها در مراحل متفاوت تمایزی

Genes	Forward Sequence (5'>3')	Reverse Sequence (5'>3')	Forward Size (bp)	Reverse Size (bp)
<i>Stra8</i>	GAAGTCCTGGAGACCTTG	TGGAAGCAGCTTCTCAAT	150	59.7
<i>Ddx4</i>	CTTCAGTAGCAGCAAGAGG	GGAGGAAGAACAAGAACAGG	267	57.5
<i>AKAP3</i>	CGCAAAGACCTGGAGAAAAG	CCACTTCTCCACAAACGAT	82	58
<i>GAPDH</i>	AACCTTGGCATTGTGGAAGG	ACACATTGGGGGTAGGAACA	223	57.5

Post HOC Test ^{۳۶}
Hanging Drop ^{۳۷}
A-Kinase Anchor Protein 3 (AKAP3) ^{۳۸}

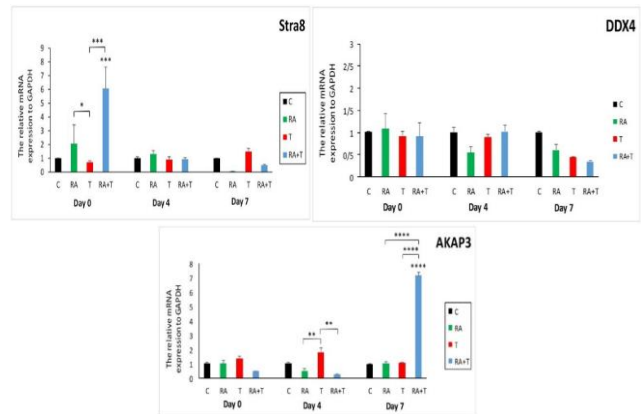
Extension ^{۳۶}
Cycle threshold (Ct) ^{۳۷}
Roche, Germany ^{۳۸}

مجله تحقیقات پزشکی صرم

نر در شرایط آزمایشگاهی از طریق شکل‌گیری EBs و بررسی اثر رتینوئیک اسید به همراه تستوسترون را بررسی می‌کردند، دریافتند که بیان ژن *Stra8* با افزودن رتینوئیک اسید افزایش یافت. آن‌ها نشان دادند که بیان این ژن در غیاب رتینوئیک اسید، متوقف می‌شود. این محققان نشان دادند که رتینوئیک اسید با اثر بر این ژن، شکل‌گیری سلول‌های پاپوئیدی را از طریق تشکیل EBs تقویت می‌کند [۲۳]. نتایج این محققان با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد. Dong و همکاران (۲۰۱۷) که اثر رتینوئیک اسید را همراه با سلول‌های بنیادی اسپرماتوگونیای تسهیل تولید سلول‌های شبیه سلول‌های زایا در موش را بررسی کردند، نشان دادند که رتینوئیک اسید بیان ژن *Stra8* را در اسپرماتوگونیای نامتمایز یافته تحریک کرد، اما اثر کمتری بر اسپرماتوگونیای تمایز یافته داشت. نتایج این محققان بیان کرد که اثر تجمعی رتینوئیک اسید و سلول‌های بنیادی اسپرماتوگونیای، بیان ژن‌های *Acrosin*، *Stra8* و *Scp1* را برای آغاز تمایز تسهیل می‌کند [۲۰]. بیان ژن *Ddx4* در طی فرآیند ایجاد سلول‌های زایای بدوی از زمانی که مهاجرت سلول‌های زایای بدوی به پایان می‌رسد تا زمانی که تبدیل به گامت بالغ می‌شوند، ادامه دارد و در این مسیر سیری صعودی را طی می‌کند [۲۱]. Yang و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که بیان ژن *Vasa* (هومولوگ *Ddx4*) در گروه EBs که در معرض ۱۰۰ ng/ml از BMP4 قرار گرفته بودند، نسبت به گروه کنترل افزایش یافت. این ژن خاص سلول‌های زایای نر محسوب می‌شود و افزایش بیان این ژن به همراه ژن‌های مربوطه نشان داد که BMP4 قادر است تا شکل‌گیری سلول‌های زایای نر را از miPSCs تحریک کند [۲۷]. دانگ و همکاران (۲۰۱۷) که اثر رتینوئیک اسید بر اسپرماتوگونیای استم سل^۴ و تولید سلول‌های شبیه سلول‌های زایای موش از mESCs^۳ را بررسی می‌کردند، نتیجه گرفتند که بیان ژن *Ddx4* در روز اول افزایش و سپس بیشترین پیک به روز ۶ در اسپرماتوگونیای استم سل‌های همراه با رتینوئیک اسید مشاهده شد. این محققان نتیجه گرفتند که اثرات رتینوئیک اسید به همراه SSCs، بیان ژن‌های مرتبط با سلول‌های زایا را در آغاز تمایز تسهیل می‌کند [۲۰]. در کل نتایج این محققان نشان داد که رتینوئیک اسید به عنوان یک فاکتور تمایزی، اثر زیادی بر روند تولید سلول‌های زایا دارد که با نتایج تحقیقات ما همراستا است اما کار بر نوع سلول متفاوت می‌باشد.

یکی از ترکیبات اصلی اسپرم، *AKAP3* و به عنوان یک سپر فیبروزی دم اسپرم است که در طول اسپرماتوزیس تشکیل می‌شود. این ژن به همراه *AKAP4* می‌تواند در شرایط *In Vitro* فرآیند مورفولوژی اسپرماتید ایفای نقش کند [۲۵]. Li و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که بیان این ژن از روز ۴ تا روز ۷ شکل‌گیری EBs افزایش پیدا می‌کند. ژن *AKAP3* و *Msy2* دو ژنی هستند که Li و همکارانش بررسی کردند و این دو ژن فقط در سلول‌های پاپوئیدی بیان می‌شوند [۲۳]. نتایج کار آن‌ها با نتایج Qin و همکاران مطابقت داشت که مارک‌های مرتبط با سلول‌های زایا در EBs از روز ۳ شروع می‌شوند [۲۲] و همچنین با نتایج Toyooka و همکاران

مشاهده گردید ($P < 0.01$). این ژن در روز ۷ بین گروه RA+T نسبت به گروه کنترل اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.001$). همچنین، بین این گروه و گروه‌های T و RA نیز تفاوت معنی‌داری دیده شد ($P < 0.001$) (شکل ۵).



شکل ۵. الگوی بیان ژن‌های *Stra8*، *Ddx4* و *Akap3* در روزهای صفر، ۴ و ۷ تمایز در چهار گروه کنترل (C)، رتینوئیک اسید (RA)، تستوسترون (T) و رتینوئیک اسید به همراه تستوسترون (RA+T). نسبت بیان این ژن‌ها به ژن *GAPDH* در گروه‌های مختلف.

بحث

در چند دهه گذشته، مطالعات زیادی در زمینه تولید سلول‌های جنسی نر و ماده از iPSCs و ESCs انجام شده است. علیرغم خطر ایجاد تومور و ناهنجاری‌های ژنتیکی، iPSCs به سبب بحران‌های اخلاقی کمتر و فراوانی این سلول‌ها، برای ایجاد سلول‌های زایا بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این وجود، هنوز مکانیسم‌های مولکولی بیشتری جهت تمایز سلول‌های زایای نر و ماده از سلول‌های بنیادی پرتوان نیاز است [۲۷]. هورمون‌های استروئیدی، بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژی انسان و حیوان را کنترل می‌کنند و در طول عمر جاندار، پیوسته تغییراتی در غلظت این هورمون‌ها ایجاد می‌شود [۲۸]. هورمون‌ها توسط سلول‌های خاصی از بافت‌های غده‌ای، از جمله تیروئید و هیپوفیز تولید می‌شوند و برای ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی از قبیل تغییرات در متابولیسم لیپید و کربوهیدرات، رشد، بلوغ جنسی و استرس مسیر طولانی را طی می‌کنند. به علاوه هورمون‌های استروئیدی به عنوان واسطه‌گرهای حیاتی در بدن جاندار به حساب می‌آیند و نقش‌های بسیار مهمی در تنظیم عملکرد سلول‌های بنیادی دارند [۲۹]. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی اثر هورمون استروئیدی تستوسترون به همراه رتینوئیک اسید بر تمایز miPSCs به سمت سلول‌های زایای نر بود. Li و همکاران (۲۰۱۳) که تمایز miPSCs به سمت سلول‌های زایای

^{۴۴} A-Kinase Anchor Protein 3 (AKAP3)

^{۴۵} Spermatogonia Stem Cells (SSC)
^{۴۶} Mouse Embryonic Stem Cells (mESCs)

این مقاله استخراجی از پایان نامه دوره ی دکترا توسط دانشگاه علوم پزشکی کاشان (شماره ی گرت: ۹۴۱۵۳) حمایت شد. محققان همچنین از همکاری دلسوزانه همه پرسنل در مراکز تحقیقات علوم تشریحی و گامتوژنیز دانشگاه علوم پزشکی کاشان قدردانی می‌کنند.

تاییدیه اخلاقی

این پژوهش به تائید کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی کاشان رسیده است (IR.KAUMS.REC.1394.150).

تعارض منافع

در این مطالعه هیچ تعارض منافع وجود نداشت.

سهم نویسندگان در مقاله

تمامی نویسندگان در انجام این طرح و در نگارش مقاله نقش داشتند

منابع مالی/حمایت‌ها

توسط دانشگاه علوم پزشکی کاشان تامین شده است.

منابع

- Hayashi Y, Saitou M, Yamanaka S. Germline development from human pluripotent stem cells toward disease modeling of infertility. *Fertil Steril*. 2012;97(6):1250-9.
- Kee K, Angeles VT, Flores M, Nguyen HN, Pera RAR. Human DAZL, DAZ and BOULE genes modulate primordial germ-cell and haploid gamete formation. *Nature*. 2009;462(7270):222-5.
- Hou J, Yang S, Yang H, Liu Y, Liu Y, Hai Y, et al. Generation of male differentiated germ cells from various types of stem cells. *Reproduction*. 2014;147(6):R179-88.
- Matsumiya K, Namiki M, Takahara S, Kondoh N, Takada S, Kiyohara H, et al. Clinical study of azoospermia. *Int J Androl*. 1994;17(3):140-2.
- Jung Y, Bauer G, Nolte JA. Concise review: induced pluripotent stem cell-derived mesenchymal stem cells: progress toward safe clinical products. *Stem Cells*. 2012;30(1):42-7.
- Kobayashi H, Nagao K, Nakajima K. Therapeutic advances in the field of male

(۲۰۰۳) که گزارش کردند در حدود 0.2 ± 0.4 درصد از EBs مثبت به *Mvh* از روز ۵ تا ۷ در طول دوره تمایز هستند^[۳۳]. تمامی این داده ها مشخص کرد که miPSCs به سمت سلول‌های زایای نر از روز ۴ الی ۷ تمایز می‌یابند و این دوره بهترین دوره برای افزودن القا کننده‌ها می‌باشد^[۳۳]. Silva و همکارانش در سال ۲۰۰۹، پروفایل بیانی ژن های مرتبط با سلول های زایای نر تیمار شده با رتینوئیک اسید به همراه تستوسترون را در mESCs مورد بررسی قرار دادند. تغییرات بیانی ژن *AKAP3* در طی بازه زمانی صفر تا ۱۴ روز تغییری نکرد ولی ژن *PRMI* ۵^{ام} که مخصوص اسپرم است با گذر زمان روند افزایشی خود را نشان داد. این داده‌ها مشخص کرد که EBs تمایز یافته، ژن‌های زیادی را بیان می‌کنند که مارکرهای تکثیر و تمایز سلول زایای نر هستند. در کل این محققان نشان دادند که رتینوئیک اسید و تستوسترون، فرآیند تمایز را تحت تاثیر قرار می‌دهد^[۳۴]. نتایج این محققان با نتایج مطالعه ما از لحاظ بررسی بیان این ژن متفاوت است زیرا کار بر روی سلول متفاوت می باشد.

نتیجه گیری

کنترل تمایز iPSCs بسیار سخت است و در شرایط آزمایشگاهی با دقت بررسی می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که PGCs می‌توانند از miPSCs در شرایط *In Vitro* تمایز یابند. البته شرایط کشت باید بسیار مناسب باشد. با وجود شرایط تمایز و بلوغ سلول‌های زایا در شرایط *In Vitro*، تولید گامت‌ها می‌تواند به عنوان یک فرضیه عملی در آینده نه چندان دور در نظر گرفته شود. در هر حال، هنوز دلایل نامشخصی از ژنتیک و یا اپیژنتیک وجود دارند که باید مورد توجه قرار گیرد تا بتوان از این گامت‌های تولیدی در کلینیک‌ها استفاده کرد. برای گروه تیمار شده با تستوسترون نشان داده شد که اثر ترکیبی این هورمون با رتینوئیک اسید می‌تواند روند تمایزی را افزایش دهد.

پیشنهادات

در بررسی‌های آتی پیشنهاد می‌شود که از روش قطره های آویزان^۶ برای تشکیل اجسام امبریونیدی استفاده شود و نیز بیان ژن‌های بیشتری در هر مرحله مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که بازه‌های زمانی بیشتر به همراه بیان پروتئین‌ها در هر مرحله بررسی گردد. در نهایت، می‌توان این موضوع را به عنوان پیشنهاد دیگری در نظر گرفت که سلول‌های تمایز یافته از بین سایر سلول‌ها با استفاده از FACS جدا شده و به صورت خالص کشت داده شده و روند تمایزی آن پیگیری گردند و پس از جداسازی سلول‌های تمایز یافته، این سلول‌ها به موش‌های آزاوسپرمی تزریق شده و فرآیند *In Vivo* نیز ارزیابی شود.

تشکر و قدردانی

Hanging Drop^{۴۱}

Protamine 1^{۴۵}

مجله تحقیقات پزشکی صرام

18. Rhinn M, Dollé P. Retinoic acid signalling during development. *Development*. 2012;139(5):843–58.
19. Lösel R, Wehling M. Nongenomic actions of steroid hormones. *Nat Rev Mol cell Biol*. 2003;4(1):46–55.
20. Mooradian AD, Morley JE, Korenman SG. Biological actions of androgens. *Endocr Rev*. 1987;8(1):1–28.
21. Hashimoto H, Yuasa S. Testosterone induces cardiomyocyte differentiation from embryonic stem cells. *J Mol Cell Cardiol*. 2013;62:69–71.
22. Lahmy R, Soleimani M, Sanati MH, Behmanesh M, Kouhkan F, Mobarra N. MiRNA-375 promotes beta pancreatic differentiation in human induced pluripotent stem (hiPS) cells. *Mol Biol Rep*. 2014;41(4):2055–66.
23. Li P, Hu H, Yang S, Tian R, Zhang Z, Zhang W, et al. Differentiation of induced pluripotent stem cells into male germ cells in vitro through embryoid body formation and retinoic acid or testosterone induction. *Biomed Res Int*. 2013;2013.
24. Eskandari N, Moghaddam MH, Atlasi MA, Mahabadi JA, Taherian A, Nikzad H. The combination of retinoic acid and estrogen can increase germ cells genes expression in mouse embryonic stem cells derived primordial germ cells. *Biologicals*. 2018;56:39–44.
25. Brown PR, Miki K, Harper DB, Eddy EM. A-kinase anchoring protein 4 binding proteins in the fibrous sheath of the sperm flagellum. *Biol Reprod*. 2003;68(6):2241–8.
26. Xu K, Yang L, Zhao D, Wu Y, Qi H. AKAP3 synthesis is mediated by RNA binding proteins and PKA signaling during mouse spermiogenesis. *Biol Reprod*. 2014;90(6):111–9.
27. Yang S, Yuan Q, Niu M, Hou J, Zhu Z, Sun M, et al. BMP4 promotes mouse iPS cell differentiation to male germ cells via Smad1/5, Gata4, Id1 and Id2. *Reproduction*. 2017;153(2):211–20.
28. Ables ET, Drummond-Barbosa D. Steroid hormones and the physiological regulation of Tissue-Resident stem cells: lessons from the Drosophila Ovary. *Curr stem cell reports*. 2017;3(1):9–18.
29. Ables ET, Laws KM, Drummond-Barbosa D. Control of adult stem cells in vivo by a dynamic physiological environment: diet-infertility: Stem cell research. *Adv Stud Med Sci*. 2013;1(1):39–54.
7. Mikkola M. Human pluripotent stem cells: glycomic approaches for culturing and characterization. 2013;
8. Geijsen N, Horoschak M, Kim K, Gribnau J, Eggan K, Daley GQ. Derivation of embryonic germ cells and male gametes from embryonic stem cells. *Nature*. 2004;427(6970):148–54.
9. Yamanaka S, Blau HM. Nuclear reprogramming to a pluripotent state by three approaches. *Nature*. 2010;465(7299):704–12.
10. Sun N, Longaker MT, Wu JC. Human iPS cell-based therapy: considerations before clinical applications. *Cell Cycle*. 2010;9(5):880–5.
11. Takahashi K, Yamanaka S. Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*. 2006;126(4):663–76.
12. Lamba DA, Gust J, Reh TA. Transplantation of human embryonic stem cell-derived photoreceptors restores some visual function in Crx-deficient mice. *Cell Stem Cell*. 2009;4(1):73–9.
13. Mandai M, Ikeda H, Jin Z-B, Iseki K, Ishigami C, Takahashi M. Use of lectins to enrich mouse ES-derived retinal progenitor cells for the purpose of transplantation therapy. *Cell Transplant*. 2010;19(1):9–19.
14. Matsuda R, Yoshikawa M, Kimura H, Ouji Y, Nakase H, Nishimura F, et al. Cotransplantation of mouse embryonic stem cells and bone marrow stromal cells following spinal cord injury suppresses tumor development. *Cell Transplant*. 2009;18(1):39–54.
15. Liu S-P, Fu R-H, Huang Y-C, Chen S-Y, Chien Y-J, Hsu CY, et al. Induced pluripotent stem (iPS) cell research overview. *Cell Transplant*. 2011;20(1):15–9.
16. Park TS, Galic Z, Conway AE, Lindgren A, Van Handel BJ, Magnusson M, et al. Derivation of primordial germ cells from human embryonic and induced pluripotent stem cells is significantly improved by coculture with human fetal gonadal cells. *Stem Cells*. 2009;27(4):783–95.
17. Duester G. Retinoic acid synthesis and signaling during early organogenesis. *Cell*. 2008;134(6):921–31.

dependent systemic factors in *Drosophila* and beyond. *Wiley Interdiscip Rev Dev Biol*. 2012;1(5):657-74.

30. Dong G, Shang Z, Liu L, Liu C, Ge Y, Wang Q, et al. Retinoic acid combined with spermatogonial stem cell conditions facilitate the generation of mouse germ-like cells. *Biosci Rep*. 2017;37(2).

31. Saiti D, Lacham-Kaplan O. Mouse Germ Cell Development in-vivo and in-vitro. *Biomark Insights*. 2007;2:117727190700200030.

32. Qin J, Guo X, Cui GH, Zhou YC, Zhou DR, Tang AF, et al. Cluster characterization of mouse embryonic stem cell-derived pluripotent embryoid bodies in four distinct developmental stages. *Biologicals*. 2009;37(4):235-44.

33. Toyooka Y, Tsunekawa N, Akasu R, Noce T. Embryonic stem cells can form germ cells in vitro. *Proc Natl Acad Sci*. 2003;100(20):11457-62.

34. Silva C, Wood JR, Salvador L, Zhang Z, Kostetskii I, Williams CJ, et al. Expression profile of male germ cell-associated genes in mouse embryonic stem cell cultures treated with all-trans retinoic acid and testosterone. *Mol Reprod Dev Inc Gamete Res*. 2009;76(1):11-21.