

مقاله پژوهشی

اثر نانوذرات تیتانیوم دی اکساید بر توان باروری آزمایشگاهی در موش سفید کوچک آزمایشگاهی

رامین جهانگیرفرد^{۱*}، کوثر جهدی^۲

۱. گروه آناتومی و جنین‌شناسی مقایسه‌ای، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: رادیکال‌های آزاد سمی تولیدشده به وسیله نانوذرات تیتانیوم دی اکساید بر روی دستگاه تولیدمثل اثرات نامطلوب داشته و اختلالاتی را در رابطه با کیفیت مایع منی و کاهش قدرت باروری ایجاد می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی اثرات تیتانیوم دی اکساید بر توان باروری آزمایشگاهی در موش سفید کوچک آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، ۲۴ سر موش نر بالغ به ۴ گروه کنترل و آزمایشی تقسیم‌بندی شدند. در گروه کنترل حیوانات هیچ ماده‌ای دریافت نکردند. در گروه‌های آزمایشی حیوانات تیتانیوم دی اکساید را با دوزهای ۵، ۲/۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم از طریق گاواژ دریافت کردند. پس از پایان دوره تیمار، حیوانات به روش جابجایی مهره‌های گردنی آسان کشتی شدند و سپس نمونه‌های اسپرم از دم اپیدیدیم برای ارزیابی لقاح داخل آزمایشگاهی جمع‌آوری شدند. سطح $p < 0.05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج: نتایج لقاح داخل آزمایشگاهی نشان داد نانوذرات تیتانیوم دی اکساید به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث کاهش کیفیت جنین و مراحل رشد جنینی در مقایسه با گروه کنترل شد. همچنین درصد جنین‌های متوقف‌شده در گروه‌های آزمایشی نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$).
نتیجه‌گیری: نتایج حاضر نشان داد که استرس اکسیداتیو تولیدشده به وسیله نانوذرات تیتانیوم دی اکساید باعث کاهش کیفیت اسپرم و توان باروری آزمایشگاهی در حالت وابسته به دوز می‌شود.

کلمات کلیدی: اسپرم، تیتانیوم دی اکساید، رشد جنینی، لقاح داخل آزمایشگاهی، موش

مقدمه

هوا و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (۹-۴). علی‌رغم اینکه تیتانیوم دی اکساید یک ماده‌ی ایمن در نظر گرفته‌شده است ولی عوارض جانبی احتمالی آن بر سلامت انسان‌ها و حیوانات به‌طور وسیع گزارش‌شده است (۱۰، ۱۱). با توجه به قدرت سمیت تیتانیوم دی اکساید، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان احتمالاً آن را به‌عنوان ماده‌ی سرطان‌زا به طرق استنشاقی برای انسان معرفی کرده است (۱۲). مسیر قرار گرفتن انسان‌ها در معرض تیتانیوم دی اکساید اغلب از طریق مصرف مواد غذایی است و استفاده از آن به‌عنوان یک افزودنی دارویی، جایی که نانوذرات تیتانیوم دی اکساید وجود دارد به‌عنوان مواد رنگی در غذا به کار گرفته می‌شود (۱۳). ویژگی‌های فوتوکاتالیستی

نانوذرات تیتانیوم دی اکساید اغلب در تولید ویتامین‌ها به کار می‌روند. مطابق با مقررات و ضوابط فدرال ایالات متحده آمریکا، مقدار تیتانیوم دی اکساید (غیر نانوذرات) استفاده‌شده نباید از یک درصد از غذا تجاوز کند (۳-۱). در حال حاضر تیتانیوم دی اکساید در صنایع غذایی، مکمل‌های غذایی و تولید محصولات زراعی استفاده می‌شوند. علاوه بر این، نانوذرات به‌طور گسترده در سایر زمینه‌ها از جمله ساخت دارو، محصولات مصرفی، رنگ‌ها، پوشش‌های سطحی و همچنین برای پاک‌سازی آلاینده‌های آب،

*نویسندگان مسئول: رامین جهانگیرفرد، گروه آناتومی و جنین‌شناسی مقایسه‌ای، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
Email: r.jahangirfard@urmia.ac.ir
https://orcid.org/0000-0003-4985-0850

دانشکده داروسازی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و در قفس‌های پلاستیکی به مدت ۳۵ روز نگهداری شدند و غذا و آب شهری به‌صورت آزاد در اختیار حیوانات قرار داده شد. حیوانات مورد مطالعه با شرایط محیطی به مدت یک هفته آداپته و سازگار شدند. محیط نگهداری حیوانات با رعایت دمای ۲۵ الی ۲۷ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت نسبی ۲۵ الی ۳۰ درصد همچنین پروتکل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی با توجه به سیکل نوری از ۷ صبح تا ۷ شب صورت پذیرفت. هنگام مراحل کاری، با در نظر گرفتن اصول و منشور اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی دانشکده دامپزشکی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. گروه‌ها شامل: گروه ۱ (گروه کنترل)؛ حیوانات در این گروه به‌عنوان گروه شاهد در نظر گرفته شدند و هیچ ماده‌ای دریافت نکردند. گروه ۲ (گروه آزمایشی)؛ در این گروه حیوانات تیتانیوم دی اکساید را با دوز ۲/۵ میلی گرم بر کیلوگرم روزانه به‌صورت خوراکی دریافت کردند. گروه ۳ (گروه آزمایشی)؛ در این گروه حیوانات تیتانیوم دی اکساید را با دوز ۵ میلی گرم بر کیلوگرم روزانه به‌صورت خوراکی دریافت کردند. گروه ۴ (گروه آزمایشی)؛ در این گروه حیوانات تیتانیوم دی اکساید را با دوز ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم روزانه به‌صورت خوراکی دریافت کردند. در پژوهش حاضر تیتانیوم دی اکساید با آب مقطر حل و از طریق گاوآژ خوراندند. بعد از پایان دوره درمان، حیوانات مورد مطالعه توزین شدند و سپس با تزریق داخل صفاقی کتامین و زایلازین به ترتیب با دوزهای ۷۰ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم بی‌هوش می‌شدند. در نهایت با استفاده از روش جابجایی مهره‌های گردنی آسان کشی شدند. بعد از کنار زدن پوست و عضلات ناحیه بطنی، دم اپیدیدیم با کنار زدن بافت‌های همبندی برداشته شد و سپس دم اپیدیدیم برای خروج اسپرم‌ها به تکه‌های کوچک بریده شدند. نمونه‌های اخذ شده در لوله فالتکون‌های استریل حاوی یک میلی‌لیتر محیط کشت HTF حاوی ۴ میلی گرم آلبومین سرم گاوی (BSA) در انکوباتور ۵ درصد دی‌اکسید کربن با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفتند تا اسپرم‌ها وارد محیط کشت شوند (۳۰).

اخذ اوسیت از اویداکت

به‌منظور بررسی درصد لقاح و کیفیت جنین‌های حاصل از لقاح آزمایشگاهی حیوانات مورد مطالعه با هورمون‌های گنادوتروپین مادیان آبستن به میزان ۱۰ واحد بین‌المللی به‌صورت داخل صفاقی تزریق شد. بعد از گذشت ۴۸ ساعت، هورمون دیگری بنام

تیتانیوم دی اکساید سبب اثرات نامطلوب در بافت‌های ریه (۱۴)، (۱۵)، آب‌شش‌ها (۱۶)، کبد (۱۷، ۱۸)، طحال (۱۹، ۲۰)، مغز (۲۱، ۲۲)، دستگاه تولیدمثل (۲۳، ۲۴) و دستگاه قلب و عروق (۲۵) در حیوانات گزارش شده است. همچنین اثرات مزمن تیتانیوم دی اکساید به‌طور آشکار باعث افت عملکرد کلیه‌ها می‌گردد (۱۹). گزارش شده است که این نانوذرات می‌توانند در کلیه ماهی‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان تجمع پیدا کنند (۲۰). اثرات تیتانیوم دی اکساید باعث افزایش میزان سطوح اوره و کراتینین در رت شده است (۱۹). همچنین در موش سوری سبب نارسایی توبول‌های کلیوی و در نتیجه باعث گشادشدن گلومرول‌های کلیوی می‌گردد (۲۶). پژوهشگران ثابت کردند که استفاده طولانی مدت از تیتانیوم دی اکساید سبب تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. این سیستم با تولید رادیکال‌های آزاد سمی می‌تواند آثار تخریبی بر بافت‌های مختلف بدن و نیز اسپرم‌های تولیدشده در بافت بیضه اعمال کند (۲۰). به‌هرحال سیکل اسپرماتوزن در اثر رادیکال‌های آزاد تحت تأثیر قرار می‌گیرند و دچار اختلال در تولید اسپرماتوزو می‌شوند. پیشرفت اثرات سمی گونه‌های فعال اکسیژن به داخل سلول‌ها و بافت‌های گوناگون بدن احتمالاً باعث ایجاد نکروز، آپوپتوز و التهاب می‌گردند (۲۷). بیان شده است که با افزایش میزان غلظت گونه‌های فعال اکسیژن در محیط کشت در هر دو تکنیک لقاح خارج رحمی و تزریق داخل سیتوپلاسمی اسپرم با کاهش میزان باروری ارتباط مستقیم دارد (۲۸). Yoneda و همکاران نشان دادند که کاهش اثرات غلظت اکسیژن و پر اکسید هیدروژن در محیط کشت می‌تواند اثرات بهبودی بر روی کیفیت جنین در مرحله بلاستوسیست داشته باشد (۲۹). تاکنون هیچ مطالعه‌ای مبنی بر اثرات نانوذرات تیتانیوم دی اکساید بر روی رشد جنین‌های حاصل از لقاح داخل آزمایشگاهی ارائه نگردیده است. لذا با توجه به اهمیت ایجاد تنش‌های استرس اکسیداتیو ناشی از تیتانیوم دی اکساید بر روی کیفیت و کمیت تولید جنین‌های آزمایشگاهی، مطالعه اخیر به‌عنوان اولین مطالعه در این زمینه انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تجربی، تعداد ۲۴ سر موش سفید کوچک آزمایشگاهی نر بالغ نژاد (NMRI) مورد مطالعه قرار گرفت. حیوانات از مرکز پرورش و نگهداری حیوانات آزمایشگاهی

آنالیز آماری

میانگین داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و سپس از طریق آزمون واریانس یک‌طرفه آنالیز شدند. جهت مقایسه میانگین‌ها، تعیین اختلاف میانگین‌ها و معنی‌دار بودن نتایج از تست تعقیبی توکی استفاده شد. سطح معنی‌داری ($p < 0.05$) در نظر گرفته شد.

نتایج

الف) درصد لقاح

در مورد درصد لقاح تنها اختلاف معنی‌دار بین گروه کنترل و گروهی بود که بیشترین میزان دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید را دریافت کرده بود ($p < 0.05$). این در حالی است که بین گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزایش دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید با کاهش درصد لقاح رابطه مستقیم داشته به‌طوری‌که کمترین درصد زایگوت به بیشترین دوز تیتانیوم دی اکساید اختصاص یافت (جدول ۱).

ب) جنین‌های دو الی چهار سلولی

در مورد جنین‌های دو الی چهار سلولی تنها اختلاف معنی‌دار بین گروه کنترل و گروهی بود که بیشترین دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید را دریافت کرده بود ($p < 0.05$). بین گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌دار چشمگیری وجود نداشت. بیشترین کاهش میزان جنین‌های دو الی چهار سلولی در گروهی که بیشترین میزان دوز تیتانیوم دی اکساید را دریافت کرده بود

هورمون گنادوتروپین جفت انسان به میزان ۱۰ واحد بین‌المللی از طریق داخل صفاقی نیز تجویز شد. حدوداً ۱۰ الی ۱۲ ساعت بعد از تزریق هورمون گنادوتروپین جفت انسان حیوانات با استفاده از داروهای کتامین و زایلازین تحت بیهوشی قرار گرفتند و به دنبال آن آسان کشی شدند. سپس تخمک‌ها پس از شستشو در داخل قطرات محیط کشت لقاح در زیر روغن معدنی گذاشته شدند. اسپرم‌های جداشده مربوط به تک‌تک گروه‌ها پس از طی روند ظرفیت‌یابی به‌طور مجزا به تعداد یک‌میلیون به ازای هر میلی‌لیتر محیط کشت اضافه گردیدند (۳۰).

لقاح و روند رشد جنین

در بررسی حاضر ۴ الی ۶ ساعت بعد از اضافه کردن اسپرم عمل لقاح صورت گرفت. تعداد زایگوت‌های تشکیل‌شده در تک‌تک گروه‌ها بررسی شد و به‌صورت درصد لقاح در هر گروه گزارش شد (۳۱). در این تحقیق جهت ارزیابی میزان باروری آزمایشگاهی و روند رشد جنینی به‌وسیله میکروسکوپ اینورت صورت پذیرفت. در مطالعه حاضر، میزان درصد لقاح، جنین‌های دو الی چهار سلولی، مرحله مورولا، میزان درصد بلاستوسیست، جنین‌های هچ شده و متوقف‌شده در مراحل مختلف تیپ ۱، ۲ و ۳ در هر گروه به‌صورت کاملاً مستقل مورد بررسی قرار گرفتند.

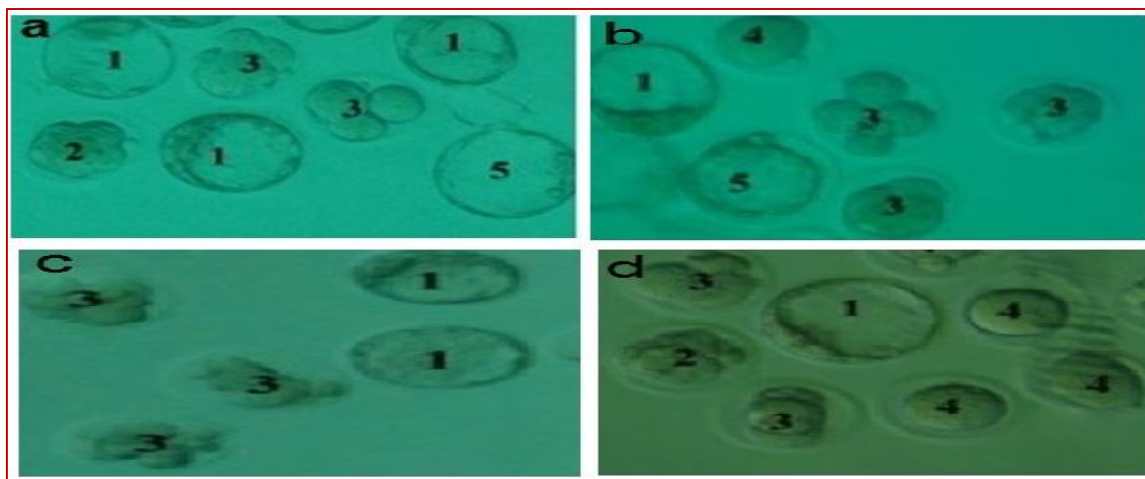
مواد شیمیایی

در این مطالعه نانوذرات تیتانیوم دی اکساید به شکل پودر سفیدرنگ کریستالیزه از شرکت سیگما آلدریج با خلوص ۹۹/۷ درصد خریداری شد. این ماده شیمیایی با آب مقطر حل‌شده و با دوزهای تعیین‌شده به حیوانات گاوژ شد.

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات تیتانیوم دی اکساید بر میزان لقاح و جنین‌های دوسلولی تا چهار سلولی در گروه‌های مختلف

گروه ۱ (کنترل)	گروه ۲ (دوز پایین)	گروه ۳ (دوز متوسط)	گروه ۴ (دوز بالا)	
میزان لقاح (درصد)	۸۵/۵۸ ± ۵/۴۳ ^a	۷۴/۱۵ ± ۳/۰۱ ^b	۶۴/۲۴ ± ۶/۳۰ ^c	۴۱/۶۹ ± ۷/۶۵ ^d
جنین‌های دوسلولی (درصد)	۸۳/۴۰ ± ۱/۵۲ ^a	۷۷/۰۰ ± ۷/۷۹ ^b	۷۱/۴۵ ± ۵/۳۳ ^c	۷۰/۳۲ ± ۵/۶۲ ^c
جنین‌های چهار سلولی (درصد)	۸۴/۶۸ ± ۳/۴۰ ^a	۷۷/۷۲ ± ۳/۵۷ ^b	۶۸/۴۲ ± ۳/۰۰ ^c	۶۲/۴۴ ± ۵/۵۶ ^{c,d}

مشاهده شد. این کاهش نیز وابسته به دوز بوده است (جدول ۱ و شکل ۱).
افزایش میزان دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید میزان درصد بلاستوسیت نیز کاهش پیدا می‌کند (جدول ۲؛ شکل ۱).



شکل ۱- جنین‌های حاصل از لقاح داخل آزمایشگاهی در گروه‌های مورد مطالعه (کنترل a، دوز پایین b، دوز متوسط c و دوز بالا d). بلاستوسیت (۱)، مورولا (۲)، جنین‌های متوقف شده (۳)، اووسیت‌های بارور نشده (۴)، جنین‌های در حال هج شدن (۵). بزرگ‌نمایی $\times 200$

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات تیتانیوم دی اکساید بر میزان مورولا، بلاستوسیت و جنین‌های هج شده در گروه‌های مختلف

گروه ۱ (کنترل)	گروه ۲ (دوز پایین)	گروه ۳ (دوز متوسط)	گروه ۴ (دوز بالا)
مورولا (درصد)	۷۳/۵۹ ± ۴/۶۰ ^a	۶۱/۵۹ ± ۶/۷۷ ^b	۵۱/۰۳ ± ۷/۴۴ ^c
بلاستوسیت (درصد)	۵۱/۶۹ ± ۳/۳۳ ^a	۴۳/۴۱ ± ۳/۸۱ ^b	۴۰/۱۹ ± ۶/۱۵ ^b
جنین‌های هج شده (درصد)	۱۹/۴۲ ± ۲/۷۰ ^a	۰ ± ۰	۰ ± ۰

پ) جنین‌های مرحله مورولا تا بلاستوسیت

کاهشی در گروه‌های دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید در مقایسه با گروه کنترل وجود داشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که میزان درصد مورولا در گروه دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید با دوز پایین نسبت به گروه دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید با دوز بالا اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید ($p < 0/05$). در مورد درصد بلاستوسیت در بین گروه‌های کنترل و دوز بالای تیتانیوم دی اکساید اختلاف معنی‌دار بود. به‌طوری‌که با

ت) جنین‌های هج شده

به‌طورکلی در گروه‌های آزمایشی دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید شامل دوزهای پایین، متوسط و بالا درصد جنین‌های هج شده برابر با صفر گزارش شد. در نتیجه اثرات سوء تیتانیوم دی اکساید بر روی جنین‌ها اثبات می‌شود (جدول ۲؛ شکل ۱).

ث) ارزیابی جنین‌های متوقف‌شده

میانگین درصد جنین‌های متوقف‌شده نشان داد که افزایش در میزان درصد جنین‌های متوقف‌شده در گروه‌های

نانوذرات تیتانیوم دی اکساید باعث کاهش میزان درصد لقاح، جنین‌های دو الی چهار سلولی، مرحله مورولا، مرحله بلاستوسیست و جنین‌های هچ شده می‌شود. همچنین باعث افزایش میزان جنین‌های متوقف‌شده در گروه‌های آزمایشی نسبت به گروه کنترل شد. تیتانیوم دی اکساید به‌عنوان یک ماده‌ی سرطان‌زا معرفی‌شده است. این ماده ابتدا در سیستم گردش خون جذب‌شده و از طریق چرخش در آن خود را به قسمت‌های مختلف بدن و سپس به داخل سلول‌ها می‌رساند. در

دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید در مقایسه با گروه کنترل دیده شد. این افزایش بیشتر در گروهی بود که بیشترین میزان دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید را دریافت کرده بود. همچنین مابین گروه‌های آزمایشی دوزهای پایین، متوسط و بالا هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین افزایش جنین‌های متوقف‌شده تیپ ۱، ۲ و ۳ وابسته به دوز بوده به‌طوری‌که با افزایش دوز مصرفی تیتانیوم دی اکساید میزان جنین‌های متوقف‌شده نیز بیشتر می‌شود (جدول ۳؛ شکل ۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات تیتانیوم دی اکساید بر درصد جنین‌های متوقف‌شده تیپ‌های ۱، ۲ و ۳ در گروه‌های مختلف

گروه ۱ (کنترل)	گروه ۲ (دوز پایین)	گروه ۳ (دوز متوسط)	گروه ۴ (دوز بالا)
درصد جنین‌های متوقف‌شده	39.59 ± 3.86^a	48.65 ± 2.13^b	51.79 ± 4.29^c
درصد جنین‌های متوقف‌شده تیپ ۱	21.33 ± 4.63^a	38.63 ± 1.77^b	47.67 ± 1.22^d
درصد جنین‌های متوقف‌شده تیپ ۲	26.51 ± 4.35^a	36.26 ± 6.48^b	40.42 ± 3.61^c
درصد جنین‌های متوقف‌شده تیپ ۳	55.46 ± 4.69^a	21.38 ± 6.05^b	12.52 ± 4.67^c

*حروف متفاوت (a,b) نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ردیف مابین گروه‌های مختلف است (Mean $\pm$ SD).

داخل سلول‌ها، در اثر واکنش‌های شیمیایی یکسری مواد زائدی تحت عنوان رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند. ارگانل‌های داخل سلولی به‌خصوص میتوکندری تحت تأثیر تیتانیوم قرار گرفته و عملکرد آن جهت تولید انرژی کاهش پیدا می‌کند. به دنبال کاهش انرژی در سلول‌ها منجر به تولید رادیکال‌های آزاد می‌گردد (۳۵). در یک مطالعه انجام‌گرفته گزارش‌شده که استفاده از تیتانیوم دی اکساید سبب کاهش باروری در گونه *Drosophila* می‌شود (۳۳). بررسی حاضر نیز همسو با مطالعات اخیر نشان داد که تیتانیوم دی اکساید باعث کاهش کیفیت مایع منی و به دنبال آن باعث کاهش قدرت باروری می‌گردد. این کاهش باروری احتمالاً به دلیل تجمع و اثرات نامطلوب گونه‌های

بحث و نتیجه‌گیری

نانوذرات تیتانیوم دی اکساید غالباً در بسته‌بندی محصولات غذایی به کار گرفته می‌شوند. اثرات سمیت تیتانیوم دی اکساید بر سیستم تولیدمثلی حیوانات اثرگذار است (۳۲). نشان داده‌شده است که فرم روتایل نانوذرات تیتانیوم دی اکساید با دوزهای ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روی بافت بیضه اثر سوء داشته است (۳۳). علاوه بر این، فرم روتایل پس از تجویز خوراکی با دوز ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بی‌ضرر تلقی شده است. این در حالی است که فرم آنتاز تیتانیوم دی اکساید سبب آسیب بافت عصبی در رت گردیده است (۳۴). نتایج بررسی حاضر نشان داد

اسیدهای چرب غیراشباع بوده و سیتوپلاسم اسپرم‌ها نیز دارای یکسری آنزیم‌های کنترل‌کننده است؛ بنابراین بررسی‌های انجام‌شده نشان داده‌اند که استفاده از تیتانیوم دی اکساید سبب ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو به واسطه تولید پراکسید هیدروژن اتفاق می‌افتد (۳۳). پس می‌توان کاهش معنی‌دار درصد باروری در گروه‌های دریافت‌کننده تیتانیوم دی اکساید در مقایسه با گروه کنترل را به نقش مهم ROS تولیدشده نسبت داد. در مطالعه حاضر نیز همسو با مطالعات قبلی احتمالاً اسپرم‌ها در معرض خطرات ناشی از استرس اکسیداتیو واقع شدند و متعاقب آن باعث ایجاد اختلالات و ناهنجاری‌های اسپرمی اغلب در ناحیه سر اسپرم می‌گردد و در نتیجه سبب کاهش کیفیت جنین و کاهش قدرت باروری می‌شوند. پس چنین می‌توان گفت که کاهش معنی‌دار درصد باروری در گروه‌های دریافت‌کننده نانوذرات تیتانیوم دی اکساید در مقایسه با گروه کنترل را به نقش گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده به واسطه این نانو ذره نسبت داد. به‌طور کلی نانوذرات تیتانیوم دی اکساید با توقف رشد جنینی در مراحل مختلف تکوین و با افزایش بلاستوسیت‌های نامطلوب منتهی به کاهش درصد موفقیت لقاح داخل آزمایشگاهی می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسنده مسئول مقاله از همکاری و مساعدت دانشکده دامپزشکی دانشگاه ارومیه و فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌نماید.

مقاله حاضر با کد اخلاق در پژوهش (۵۱۱۸) انجام پذیرفت.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ منافع رقابتی ندارند.

References

1. Powell JJ, Faria N, Thomas-McKay E, Pele LC. Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *Journal of autoimmunity*. 2010; 34(3): 226-233.
2. Skocaj M, Filipic M, Petkovic J, Novak S. Titanium dioxide in our everyday life; is it safe? *Radiology and oncology*. 2011; 45(4):227-247.

فعال اکسیژن در بافت بیضه و متعاقب آن اختلالاتی در تقسیم‌های سلولی ردهٔ سیکل اسپرماتوژنز در ارتباط باشد. استرس اکسیداتیو در اسپرم سبب ایجاد آسیب به DNA، تغییر عملکرد غشاء، اختلال در حرکت و نفوذ و اتصال اسپرم به تخمک و همچنین باعث کاهش در ظرفیت‌یابی، واکنش‌های آکروزومی و زایگوت می‌شود (۲۰، ۲۷). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نیز با مطالعات مرور شده همخوانی دارد. در این مطالعه نیز نتایج مشابهی با مطالعات اخیر وجود داشت که بیانگر تغییرات مراحل رشد جنین‌های حاصل از لقاح داخل آزمایشگاهی است. پژوهشگران اظهار داشتند که تجمع تیتانیوم دی اکساید در برخی از بافت‌ها از جمله بافت کبد، کلیه، ریه و طحال در حیوان رت وجود دارد (۳۲)؛ بنابراین در راستای مطالعات قبلی تجمع تیتانیوم دی اکساید را در بافت بیضه نیز ممکن می‌سازد. علاوه بر این، گزارش‌شده است که تیتانیوم دی اکساید می‌تواند از سد خونی-بیضه‌ای عبور کند و سلول‌های ردهٔ اسپرماتوژنز را تحت تأثیر قرار دهد (۳۵). همچنین در این مطالعه همگرا با مطالعات مرور شده استرس اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد ناشی از تجویز تیتانیوم دی اکساید باعث افزایش شکست رشته‌های DNA می‌شود. درمجموع چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاهش معنی‌دار میزان درصد لقاح، درصد جنین‌های دو الی چهار سلولی، درصد مورولا تا بلاستوسیت، درصد جنین‌های هچ شده و همچنین درصد جنین‌های متوقف‌شده در مراحل مختلف و در کل باعث افت توانایی باروری در حیوانات تحت درمان در گروه آزمایشی با تیتانیوم دی اکساید با دوزهای مختلف نسبت به گروه کنترل گردید. در این بررسی کاهش توان باروری، توقف رشد جنینی و مرگ سلولی احتمالاً به دلیل تولید بیش‌ازحد رادیکال‌های آزاد یا متابولیت‌های سمی تیتانیوم دی اکساید در سلول باشد. علاوه بر این، اسپرم‌ها اغلب در معرض استرس اکسیداتیو قرار می‌گیرند زیرا غشاء سیتوپلاسمی آن‌ها حاوی مقدار زیادی

3. Weir A, Westerhoff P, Fabricius L, Hristovski K, Von Goetz N. Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental science & technology*. 2012; 46(4):2242-2250.
4. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental health perspectives*. 2005; 113(7):823-839.

5. Wang JJ, Sanderson BJ, Wang H. Cyto-and genotoxicity of ultrafine TiO_2 particles in cultured human lymphoblastoid cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2007; 628(2):99-106.
6. Warheit DB, Webb TR, Reed KL, Frerichs S, Sayes CM. Pulmonary toxicity study in rats with three forms of ultrafine- TiO_2 particles: differential responses related to surface properties. *Toxicology*. 2007; 230(1):90-104.
7. Li J, Li Q, Xu J, Li J, Cai X, Liu R, et al. Comparative study on the acute pulmonary toxicity induced by 3 and 20 nm TiO_2 primary particles in mice. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2007; 24(3):239-244.
8. Wang H, Wick RL, Xing B. Toxicity of nanoparticulate and bulk ZnO , Al_2O_3 and TiO_2 to the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Environmental Pollution*. 2009; 157(4):1171-1177.
9. Xiong D, Fang T, Yu L, Sima X, Zhu W. Effects of nano-scale TiO_2 , ZnO and their bulk counterparts on zebrafish: acute toxicity, oxidative stress and oxidative damage. *Science of the Total environment*. 2011; 409(8):1444-1452.
10. Linkov I, Satterstrom FK, Corey LM. Nanotoxicology and nanomedicine: making hard decisions. *Nanomedicine: Nanotechnology, biology and medicine*. 2008; 4(2):167-171.
11. Elsaesser A, Howard CV. Toxicology of nanoparticles. *Advanced drug delivery reviews*. 2012; 64(2):129-137.
12. Baan RA. Carcinogenic hazards from inhaled carbon black, titanium dioxide, and talc not containing asbestos or asbestiform fibers: recent evaluations by an IARC Monographs Working Group. *Inhalation toxicology*. 2007; 19(1): 213-228.
13. Han SG, Newsome B, Hennig B. Titanium dioxide nanoparticles increase inflammatory responses in vascular endothelial cells. *Toxicology*. 2013; 306(5): 1-8.
14. Afaq F, Abidi P, Matin R, Rahman Q. Cytotoxicity, pro-oxidant effects and antioxidant depletion in rat lung alveolar macrophages exposed to ultrafine titanium dioxide. In *Journal of Applied Toxicology: An International Forum Devoted to Research and Methods Emphasizing Direct Clinical, Industrial and Environmental Applications* 1998; (Vol. 18, No. 5, pp. 307-312). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
15. Sun Q, Tan D, Ze Y, Sang X, Liu X, Gui S, et al. Pulmotoxicological effects caused by long-term titanium dioxide nanoparticles exposure in mice. *Journal of hazardous materials*. 2012; 235:47-53.
16. Federici G, Shaw BJ, Handy RD. Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic toxicology*. 2007; 84(4):415-430.
17. Wang J, Zhou G, Chen C, Yu H, Wang T, Ma Y, et al. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicology letters*. 2007; 168(2):176-185.
18. Ma L, Zhao J, Wang J, Liu J, Duan Y, Liu H, et al. The acute liver injury in mice caused by nano-anatase TiO_2 . *Nanoscale research letters*. 2009; 4(11):1275.
19. Li N, Duan Y, Hong M, Zheng L, Fei M, Zhao X, et al. Spleen injury and apoptotic pathway in mice caused by titanium dioxide nanoparticles. *Toxicology letters*. 2010; 195(2-3):161-168.
20. Wang J, Li N, Zheng L, Wang S, Wang Y, Zhao X, et al. P38-Nrf-2 signaling pathway of oxidative stress in mice caused by nanoparticulate TiO_2 . *Biological trace element research*. 2011; 140(2):186-197.
21. Yu Y, Ren W, Ren B. Nanosize titanium dioxide cause neuronal apoptosis: a potential linkage between nanoparticle exposure and neural disorder. *Neurological research*. 2008; 30(10):1115-1120.
22. Wu J, Liu W, Xue C, Zhou S, Lan F, Bi L, et al. Toxicity and penetration of TiO_2 nanoparticles in hairless mice and porcine skin after subchronic dermal exposure. *Toxicology letters*. 2009; 191(1):1-8.
23. Gao G, Ze Y, Li B, Zhao X, Zhang T, Sheng L, et al. Ovarian dysfunction and gene-expressed characteristics of female mice caused by long-term exposure to titanium dioxide nanoparticles. *Journal of hazardous materials*. 2012; 243(1): 19-27.
24. Xia M, Wang J, He Y. BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PloS one*. 2013; 8(7).
25. Sheng L, Wang X, Sang X, Ze Y, Zhao X, Liu D, et al. Cardiac oxidative damage in mice following exposure to nanoparticulate titanium dioxide. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2013; 101(11): 3238-3246.
26. Chen J, Dong X, Zhao J, Tang G. In vivo acute toxicity of titanium dioxide nanoparticles to mice after intraperitoneal injection. *Journal of applied toxicology*. 2009; 29(4): 330-337.



27. Gui S, Li B, Zhao X, Sheng L, Hong J, Yu X, et al. Renal injury and Nrf2 modulation in mouse kidney following chronic exposure to TiO₂ nanoparticles. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013; 61(37): 8959-8968.
28. Bedaiwy MA, Falcone T, Mohamed MS, Aleem AA, Sharma RK, Worley SE, et al. Differential growth of human embryos in vitro: role of reactive oxygen species. *Fertil Steril*. 2004; 82(3): 593-600.
29. Yoneda A, Suzuki K, Mori T, Ueda J, Watanabe T. Effects of delipidation and oxygen concentration on in vitro development of porcine embryos. *J Reprod Dev*. 2004; 50(3): 287-295.
30. Anand P, Thomas SG, Kunnumakkara AB, Sundaram C, Harikumar KB, Sung B, et al. Biological activities of curcumin and its analogues (Congeners) made by man and Mother Nature. *Biochemical pharmacology*. 2008; 76(11): 1590-1611.
31. Menkveld R, Wong WY, Lombard CJ, Wetzels AM, Thomas CM, Merkus HM, et al. Semen parameters, including WHO and strict criteria morphology, in a fertile and subfertile population: an effort towards standardization of in-vivo thresholds. *Hum Reprod*. 2001; 16: 1165-1171.
32. Gui S, Li B, Zhao X, Sheng L, Hong J, Yu X, et al. Renal injury and Nrf2 modulation in mouse kidney following chronic exposure to TiO₂ nanoparticles. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013; 61(37): 8959-8968.
33. Philbrook NA, Winn LM, Afrooz AN, Saleh NB, Walker VK. The effect of TiO₂ and Ag nanoparticles on reproduction and development of *Drosophila melanogaster* and CD-1 mice. *Toxicology and applied pharmacology*. 2011; 257(3): 429-436.
34. Takeda K, Suzuki KI, Ishihara A, Kubo-Irie M, Fujimoto R, Tabata M, et al. Nanoparticles transferred from pregnant mice to their offspring can damage the genital and cranial nerve systems. *Journal of Health science*. 2009; 55(1): 95-102.
35. Ma L, Liu J, Li N, Wang J, Duan Y, Yan J, et al. Oxidative stress in the brain of mice caused by translocated nanoparticulate TiO₂ delivered to the abdominal cavity. *Biomaterials*. 2010; 31(1): 99-105.



Original Article

Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles on in Vitro Fertilizing Potential in Albino Mice

Jahangirfard R^{1*}, Jahdi K²

1. Department of Comparative Anatomy and Embryology, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

2. Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 15 Jan 2020

Accepted: 18 Mar 2021

Abstract

Background & Objective: Toxic free radicals produced by titanium dioxide nanoparticles have adverse effects on the reproductive system and can affect the semen quality and decrease fertility. The purpose of this study was to assess the effect of titanium dioxide on in vitro fertilizing potential in albino mice.

Materials & Methods: In this experimental study, 24 adult male mice were divided into 4 control and experimental groups. The experimental groups received titanium dioxide at 2.5, 5 and 10 mg/kg by gavage. After the end of the treatment period, animals were sacrificed by cervical dislocation and then sperm samples were collected from cauda epididymis to investigate in vitro fertilization. The level of $p < 0.05$ was considered significant.

Results: In vitro fertilization results showed that titanium dioxide significantly reduced embryonic quality and stages of embryological development compared to the control animals. Also, the percentage of arrested embryos in the experimental groups was significantly enhanced versus the control ($p < 0.05$).

Conclusion: The present results exhibited that oxidative stress produced by titanium dioxide causes sperm quality decline and decrease in vitro fertilizing potential in a dose-dependent manner.

Keywords: Sperm, Titanium dioxide, Embryonic development, In Vitro Fertilization, Mouse

* **Corresponding Author: Jahangirfard Ramin**, Department of Comparative Anatomy and Embryology, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

Email: r.jahangirfard@urmia.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0003-4985-0850>