Investigating the pathophysiology of cell phone radiation on male fertility: a narrative review

Beigi Boroujeni N [1*]
1.Razi Herbal Medicines Research Center, School of Medicine, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran, nasim_boroujeni@yahoo.com

Received: *2025/5/31* Accepted: *2025/6/19*

Abstract

Background: Nowadays, long-term use of cell phones is common in society. Considering the anatomical location of the gonads, it appears that mobile phone waves exert negative effects on testicular tissue and Spermatogenesis, increasing the rate of infertility in society.

Materials and Methods: This study narratively reviewed research conducted on the pathophysiology of phone radiation on male fertility. To this end, a query was conducted on PubMed and Google Scholar databases for relevant articles published from 2005 to 2025 using the following keywords: cell phone and male fertility.

Results: There are different ideas regarding the pathophysiology of cell phone radiation on male fertility. The damage occurs either by affecting the structure of the sperm DNA macromolecule or by producing reactive oxygen species and inducing oxidative stress, which results in histopathological alterations in the testes, ultimately negatively impacting sperm quality. As evidenced by the findings, proximity to cell phone radiation leads to a marked increase in testicular temperature, resulting in a significant decrease in the number of motile sperm. Moreover, the rate of male infertility increases with the duration of mobile phone use.

Conclusion: Despite the studies that have been conducted in this field, further research is needed, especially from clinical aspects, to investigate the histopathological changes involved in identifying the pathophysiology of male infertility.

Keywords: Radiation, Cell phone, Pathogenesis, Male fertility, Sperm.

Citation: Beigi Boroujeni N. Investigating the pathophysiology of cell phone radiation on male fertility: a narrative review. Yafte. 2025; 27(3):15-34.

***Correspondence Address: Razi Herbal Medicines Research Center, School of Medicine, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad.**
Email: *nasim_boroujeni@yahoo.com*

بررسی بیماری‌زایی امواج تلفن همراه در باروری مردان: مطالعه مروری روایتی

نسیم بیگی بروجنی [1*]

۱- مرکز تحقیقات داروهای گیاهی رازی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران

یافته / دوره ۲۷ / شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۴ / مسلسل ۱۰۵

چکیده

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۳/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۳/۲۹

مقدمه: امروزه استفاده طولانی‌مدت از تلفن همراه در افراد جامعه شایع است. با توجه به موقعیت آناتومیکی غدد جنسی مردان، به نظر می‌رسد امواج تلفن همراه بر روی بافت بیضه و روند اسپرماتوژنز تأثیرات منفی داشته و باعث بالا رفتن درصد افراد نابارور جامعه خواهد شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به بررسی روایتی تحقیقات انجام‌شده بر پاتوژنز تشعشعات تلفن همراه بر باروری مردان پرداخته شد. برای این منظور از پایگاه‌های **PubMed** و **Google Scholar** استفاده گردید و مقالات از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ با کلیدواژه‌های تلفن همراه و باروری مردان انتخاب شدند.

یافته‌ها: نظرات مختلفی در رابطه با پاتوژنز امواج تلفن همراه بر روی تولیدمثل مردان وجود دارد. مکانیسم آسیب از طریق آسیب در ساختار ماکروملکول **DNA** اسپرم و یا از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن و استرس اکسیداتیو به تغییرات هیستوپاتولوژیک در بیضه منجر گردد و در نتیجه بر روی کیفیت اسپرم تأثیر منفی ایجاد کند. یافته‌ها نشان می‌دهند مجاورت با امواج تلفن همراه به افزایش دما در ناحیه بیضه‌ها و درنتیجه کاهش قابل‌توجه در تعداد اسپرم متحرک منجر می‌گردد. از طرفی با افزایش مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه میزان ناباروری مردان افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری: با وجود مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته است، جهت بررسی تغییرات هیستوپاتولوژیک دخیل در شناسایی پاتوژنز ناباروری در مردان، تحقیقات بیشتری به‌خصوص از جنبه‌های بالینی مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: امواج ،تلفن همراه، پاتوژنز، باروری مردان، اسپرم.

***آدرس مکاتبه: خرم‌آباد، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات داروهای گیاهی رازی.**

پست الکترونیک: nasim_boroujeni@yahoo.com

مقدمه

ناباروری ناتوانی در باردار شدن پس از یک سال رابطه جنسی بدون استفاده از داروهای ضدبارداری تعریف می‌شود. در نیمی از موارد عامل ناباروری مربوط به آقایان است. آقایان در معرض عوامل مختلف محیطی قرار می‌گیرند که ممکن است توانایی تولیدمثل آن‌ها را کاهش دهد. کاهش باروری مردان پدیده‌ای است که به‌صورت تدریجی در طی سال‌ها رخ می‌دهد. توسعه تکنولوژی در محیط اطراف یکی از دلایل کاهش پارامترهای مایع منی است. امروزه تغییرات سبک زندگی و سلامت فرد ارتباط نزدیکی با هم دارند و تأثیر شگفت‌انگیزی بر باروری دارند. همه ما آگاهانه یا ناآگاهانه در معرض چندین نوع تشعشع هستیم. این عامل منجر به عوارض جانبی زودرس و تأخیری می‌شوند که ناباروری یکی از آن‌هاست. ناباروری در مردان ممکن است با کاهش تعداد سلول‌های اسپرم، اختلالات در تحرک و همچنین مورفولوژی اسپرم ظاهر شود. عوامل ایجادکننده یا افزایش‌دهنده میزان ناباروری در مردان ممکن است به مواد شیمیایی، پرتوهای یونیزان، استرس ، امواج الکترومغناطیسی،گرما، آفت‌کش‌ها، تشعشعات، رادیواکتیویته و سایر مواد خطرناک نسبت داده شود (۱،۲). تلفن‌های همراه برای انتقال داده‌ها برای ارتباطات رسانه‌های اجتماعی، مرور وب و پخش موسیقی/پادکست، تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی (RF-EMR) ساطع می‌کنند (۳). پرتوهای الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی ساطع‌شده از تلفن همراه اثرات مضری بر برخی از اعضای بدن مانند مغز، قلب و بیضه‌ها دارد (۴). تشعشعات الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی (RF-EMR) از منابع مختلف ممکن است به دلیل تولید باندهای فرکانسی بر سلامت تأثیر داشته باشند. پالس‌های گسترده منتشرشده در باندهای فرکانسی می‌توانند توسط سلول‌ها جذب شوند و بر عملکرد آن‌ها تأثیر بگذارند. مطالعات آزمایشگاهی متعدد نشان داده‌اند که تلفن‌های همراه عموماً پرکاربردترین دستگاه‌ها هستند که می‌توانند با تولید تشعشعات الکترومغناطیس اثرات مضری بر سلول‌های جنسی مانند اسپرم و تخمک داشته باشند (۵).

استفاده بیشتر از تلفن همراه با غلظت کمتر اسپرم و تعداد کمتر اسپرم مرتبط است. همچنین مشاهده شد که دستیابی به فناوری جدید با کاهش در توان خروجی تلفن همراه است (۱). نگرانی فزاینده‌ای وجود دارد که استفاده از تلفن‌های همراه، منبع میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی سطح پایین، ممکن است با کیفیت پایین مایع منی مرتبط باشد. اما شواهد اپیدمیولوژیک در این خصوص محدود و متناقض است (۶).

در سال‌های اخیر تعداد کاربران تلفن همراه افزایش چشمگیری داشته است. به‌این‌علت، نگرانی‌های بهداشتی مرتبط با امواج الکترومغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. قرار گرفتن مداوم در معرض پرتو الکترومغناطیسی (EM) تولیدشده از تلفن همراه تأثیر منفی بر کیفیت مایع منی می‌گذارد. این یکی از دلایل احتمالی اختلال در باروری و افزایش میزان ناباروری مردان است (۷،۸).

وجود میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین در محیط اطراف از دوران باستان شناخته شده است و پیامدهای بیولوژیکی آن‌ها برای چندین دهه مورد توجه قرار گرفته است. به‌این‌ترتیب دزیمتری چنین پارامترهای میدانی و انتشار آن‌ها از منابع مختلف باعث نگرانی دائمی بوده است. پیشرفت‌های اخیر در ارتباطات سیار نیز توجه را به اثرات بیولوژیکی آن‌ها جلب کرده است. به‌طورکلی کودکان و بزرگسالان به‌صورت دستی از تلفن همراه به‌عنوان تلفن‌های بی‌سیم در موقعیت‌های مختلف نسبت به بدن استفاده می‌کنند. علاوه بر این، تعداد فزاینده‌ای از ایستگاه‌های پایه ارتباطات سیار منجر به نگرانی‌های گسترده‌ای در مورد اثرات احتمالی انتشار فرکانس رادیویی بر سلامتی شده است. دو احتمال وجود دارد که درنتیجه

قرار گرفتن در معرض میدان فرکانس رادیویی سلامتی انسان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. یکی از این احتمالات اثرات حرارتی ناشی از نزدیک نگه‌داشتن تلفن همراه به بدن و مکالمات طولانی‌مدت در یک دوره زمانی طولانی است و احتمال دوم ممکن است به علت اثرات غیرحرارتی از تلفن‌های همراه و ایستگاه‌های مخابراتی باشد که در نتیجه این تأثیرات می‌توانند تجمعی باشند. برخی از افراد ممکن است تحت تأثیر اثرات زیست‌محیطی ایستگاه‌های پایه تلفن همراه واقع در نزدیکی خانه، مدرسه یا هر مکان دیگری قرار گیرند. علاوه بر تلفن‌های همراه، وسایلی مانند مایکروویو و غیره نیز در حال افزایش هستند. علیرغم اختلاف‌نظر در مورد اثرات احتمالی ناشی از اثر غیرحرارتی میدان‌های الکترومغناطیسی، برهمکنش الکترومغناطیسی امواج رادیویی نیاز به ارزیابی کمی‌دارد (۹).

امواج الکترومغناطیسی می‌توانند اثرات خود را از طریق حرارتی و غیرحرارتی ایجاد کنند. مطالعات حیوانی زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد امواج الکترومغناطیسی طیف وسیعی از اثرات مخرب بر سیستم تولیدمثل و پارامترهای اسپرم مرد دارند (۱۰). استفاده از تلفن‌های همراه باعث آلودگی بیشتر محیط به تشعشعات الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی شده و پرتوهای تلفن همراه بر سلامت باروری مردان تأثیر داشته است که بسیاری از مشکلات ناباروری به مردان نسبت داده می‌شود. عوامل محیطی و شیوه زندگی در ناباروری مردان نقش دارند. قرار گرفتن در معرض گرما، تشعشع یا رادیواکتیویته ممکن است باعث آسیب به بافته‌ای بیولوژیکی ازجمله بیضه شود. به نظر می‌رسد که رابطه آشکاری بین مدت‌زمان مواجهه با فرکانس رادیویی تلفن همراه و کاهش کیفیت اسپرم وجود دارد، اما شواهد قطعی نیستند (۱۱). احتمالاً استفاده از بلوتوث زمان ماندن تلفن‌های همراه را در جیب شلوار مردان طولانی‌تر کرده است. این فرضیه عنوان شده که تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی استرس اکسیداتیو را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد می‌شود (۳). پرتوهای الکترومغناطیسی باعث ایجاد استرس اکسیداتیو می‌شود که منجر به تغییرات متعدد در پارامترهای تولیدمثل می‌شود (۸).

تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در حیوانات تحت معرض تشعشعات تلفن همراه می‌تواند باعث کاهش تستوسترون، افزایش کاسپاز ۳ و ناهنجاری در اسپرم شود (۱۲). اسپرم انسان در برابر استرس اکسیداتیو آسیب‌پذیر است. تشعشعات تلفن همراه باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد می‌شود. القای استرس اکسیداتیو نه‌تنها ظرفیت لقاح را کاهش می‌دهد، بلکه باعث آسیب به DNA می‌شود. تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی هم در فرکانس بالا و هم در محدوده فرکانس تلفن‌های همراه، تولید گونه‌های اکسیژن فعال میتوکندری اسپرم‌های انسانی را افزایش می‌دهد. همچنین باعث کاهش حرکت و میزان زنده ماندن اسپرم می‌شود و درعین‌حال تجمع DNA آسیب‌دیده و درنهایت تکه‌تکه شدن DNA را تحریک می‌کند (۱۳).

در مطالعه‌ای که بر روی تأثیر پرتوهای یونیزان و غیریونیزان بر دستگاه تناسلی مردان پرداخته شد عنوان شد که این پرتوها می‌توانند اثرات نامطلوبی بر اسپرماتوژنز داشته باشند. اگرچه نمی‌توان تعامل حرارتی و غیرحرارتی تشعشع با بافت بیولوژیکی را رد کرد، اما اکثر مطالعات بر تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) تأکید دارند. علاوه بر این، پاتوفیزیولوژی پرتو شامل تأثیر بر متابولیسم سلولی، سیستم غدد درون‌ریز، اختلالات ژنتیکی و بی‌ثباتی ژنومی است (۱۴). گوشی‌های هوشمندی که از طیف WiFi برای انتقال داده استفاده می‌کنند، تأثیرات منفی بر تحرک و زنده ماندن اسپرم می‌گذارند. همچنین اثرات مضری بر کیفیت مایع منی مردان دارند (۱۵). امواج تلفن همراه باعث کاهش در تحرک پیش‌رونده زنده ماندن و مورفولوژی اسپرم و افزایش نقص سر اسپرم، تکه‌تکه

شدن DNA ، تغییر ساختارDNA و آپوپتوز زودرس سلول‌های اسپرم می‌شود (۱۶،۱۷).

درنتیجه می‌توانند عملکرد اسپرم و لقاح را مختل کنند. از طرفی مشاهده شده این امواج بر پارامترهای عملکردی یا ساختار ژنتیکی اسپرم تأثیری نداشته‌اند که این نتایج متناقض احتمالاً ناشی از تفاوت زمان استفاده از تلفن همراه یا فاصله تلفن همراه با شخص و همچنین گونه‌های حیوانی مورد استفاده است (۵).

سطوح آسیبDNA به دنبال مواجهه با تلفن همراه وابسته به حالت استفاده از تلفن همراه پیامدهای مهمی برای مردان در سنین باروری دارد. دور نگه‌داشتن تلفن همراه از بدن تا حد امکان، نه‌تنها در حین مکالمه. در حالت‌های شماره‌گیری و حالت آماده‌به‌کار تلفن‌های همراه باید در فاصله ایمن از بدن نگه داشته شوند (۱۸).

قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض امواج تلفن همراه ممکن است منجر به تغییرات رفتاری یا ساختاری سلول زایای مردانه شود (۱۹). اما اختلالات حرکتی یا مورفولوژی اسپرم و ظاهر بافتی لوله‌های اسپرم‌ساز، ازجمله مرحله چرخه اسپرم زایی، مشاهده نشود و اختلالی در عملکرد بیضه‌ها ایجاد نکند. بااین‌حال، اثرات این تابش بر روی اسپرم انسان تا حد زیادی ناشناخته است (۲۰،۲۱).

تشعشعات تلفن همراه باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در موش‌های صحرایی نر ویستار می‌شود که ممکن است منجر به تغییر در پارامترهای اسپرم شود و باروری آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۸). رابطه بین میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی ساطع‌شده از تلفن همراه و ناباروری موضوعی است که همچنان ادامه دارد. فرض بر این است که این تشعشعات ممکن است با هدف قرار دادن فرآیندهای بیوشیمی در اسپرم بر الگوی تولیدمثل تأثیر بگذارند (۱۲). قرارگرفتن در معرض طولانی‌مدت تابش۹۰۰مگاهرتز برخی از پارامترهای تولیدمثل را تغییر می‌دهد. بااین‌حال، شواهد و تحقیقات بیشتر در مورد این موضوع قطعاً مورد نیاز است (۲۲).

شیوه‌های اشتباه در زندگی و قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیسی باعث روند کاهشی درصد مورفولوژی طبیعی و کاهش تحرک اسپرم‌ها می‌شود اگرچه در مقایسه با جمعیت‌های با شیوه‌های صحیح زندگی ازنظر آماری معنی‌دار نیست (۲۳). امواج ساطع‌شده از تلفن همراه بر تحرک اسپرم انسان تأثیر می‌گذارد و علاوه بر این اثرات نامطلوب حاد بر تحرک اسپرم دارند. قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض امواج تلفن همراه ممکن است منجر به تغییرات رفتاری یا ساختاری سلول زایای مردانه شود. این اثرات ممکن است در آینده مشاهده شوند. درنتیجه باید به‌طورجدی تری بررسی شوند (۱۹).

با وجود گسترش روزافزون استفاده از تلفن‌های همراه و افزایش نگرانی‌ها درباره تأثیر امواج الکترومغناطیسی ساطع‌شده از این دستگاه‌ها بر سلامت باروری مردان، نتایج مطالعات انجام‌شده در این زمینه تاکنون متناقض بوده و شواهد بالینی و مولکولی کافی برای تبیین دقیق مکانیسم‌های پاتوفیزیولوژیک این تأثیرات وجود ندارد. بسیاری از پژوهش‌های موجود به‌صورت مطالعات حیوانی یا در شرایط آزمایشگاهی انجام شده و داده‌های اپیدمیولوژیک جامع و طولانی‌مدت درباره انسان محدود است. به‌ویژه، اطلاعات کافی درباره تغییرات هیستوپاتولوژیک، مولکولی و اپی‌ژنتیک ناشی از قرار گرفتن در معرض امواج تلفن همراه بر بافت بیضه و کیفیت اسپرم در انسان وجود ندارد. همچنین، نقش عوامل مداخله‌گر مانند مدت‌زمان و فاصله مواجهه، نوع تلفن همراه و فناوری‌های ارتباطی جدید (مانند نسل‌های مختلف اینترنت همراه) به‌صورت کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. این مسائل منجر به ایجاد شکاف دانشی در زمینه درک جامع تأثیرات امواج تلفن همراه بر باروری

مـردان شـده اسـت. هـدف اصـلی ایـن مطالعـه مـروری، گردآوری و تحلیل شواهد علمی موجود درباره تأثیر امـواج تلفن همراه بر باروری مـردان بـا تمرکـز بـر مکانیسـم‌های پاتوفیزیولوژیک و تغییـرات هیسـتوپاتولوژیک، مولکـولی و عملکردی اسپرم است.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهمیت مسـئله نابـاروری و افـزایش میـزان ناباروری در سال‌های اخیر و از طرفـی اسـتفاده روزمـره از تلفن‌های همراه و تأثیر امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه بر ناباروری مردان به بررسی مطالعات انجـام شـده در ایـن زمینه پرداخته شد و نتایج حاصل از این مقـالات در قالـب یک مقاله روایتی جهت استفاده سایر محققین تهیه شد.

بـه‌منظور اجـرای ایـن مطالعـه‌ی مـروری روایـی کلیدواژه‌های تلفـن همـراه (و معـادل‌هـای آن) و بـاروری مردان (و معادل‌های آن مانند اسـپرم و ...) در پایگـاه‌هـای پابمـد و گوگـل اسـکالر جسـتجو گردیـد. معیارهـای ورود عبـارت بودنـد از مقـالاتی آثـار امـواج تلفـن همـراه را در مطالعات انسانی یا حیوانی بر روی ناباروری مردان و کمیت یا کیفیت اسپرم بررسـی کـرده بودنـد. معیارهـای خـروج عبارت بودنـد از مقـالات مـروری، مقـالات کوتـاه و متـون خاکسـتری. مقـالات از بـین سـال‌های ۲۰۰۵ تـا ۲۰۲۵ انتخاب شدند. از میـان ۱۳۴ مقالـه‌ی پیداشـده، درنهایـت تعداد ۴۲ مقاله بررسی گردید.

یافته‌ها

تأثیرات امواج تلفن همراه بر بافت بیضه

در یک مطالعه، ۱۴ موش صحرایی نر ویستار آلبینو به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شدند. گروه آزمـایش بـه مدت یک سال، روزانه ۳ ساعت در معرض امـواج رادیـویی ۹۰۰ مگاهرتز (GSM) با نرخ جذب ویـژه (SAR) بـین ۰/۰۳۷۳ تا ۰/۰۶۲۳ وات/کیلـوگرم قـرار گرفتنـد. بررسـی پارامترهـای اسـپرم اپیدیـدیم نشـان داد تفـاوت آمـاری معناداری در تحرک و غلظت اسـپرم بـین دو گـروه وجـود نـدارد. بااین‌حـال، تحلیـل بافت‌شناسـی بیضـه کـاهش قابل‌توجهی در ضخامت تونیکـا آلبوژینـه و نمـره بیوپسـی جانسن را در گروه آزمایش نشان داد. این نتـایج حـاکی از تأثیر مواجهـه طولانی‌مـدت بـا امـواج رادیـویی بـر برخـی ویژگی‌های ساختاری بیضه است، هرچند برای نتیجه‌گیری قطعـی نیـاز بـه مطالعـات تکمیلـی وجـود دارد (۲۲).

مطالعه‌ی دیگر به بررسی تأثیرات مواجهه طولانی‌مـدت بـا میـدان الکترومغناطیسـی تلفـن همـراه بـر اسـپرم‌زایی در موش‌های صحرایی با اسـتفاده از 4G-LTE پرداخـت. در ایـن مطالعـه بـر روی ۲۰ سـر مـوش صـحرایی نـر نـژاد Sprague-Dawley انجام گرفـت. حیوانـات بـر اسـاس شدت و مدت مواجهه در ۴ گروه قـرار گرفتنـد: گـروه اول (گروه شـم)، گـروه دوم (فاصـله ۳ سـانتی‌متر + ۶ سـاعت مواجهه روزانه)، گـروه سـوم (فاصـله ۱۰ سـانتی‌متر + ۱۸ ساعت مواجهه روزانه)، گروه چهارم (۳ سانتی‌متر فاصـله + ۱۸ ساعت مواجهه روزانه). پـس از یـک مـاه، پارامترهـای اسپرم و یافتـه‌های هیسـتوپاتولوژیک بیضـه در گروه‌هـای موردمطالعه با هم مقایسه شدند. درمجموع ایـن محققـین نشان دادند که مدت‌زمان قـرار گـرفتن در معـرض میـدان الکترومغناطیسی بیشتر باعث کاهش اسپرماتوژنز می‌شـود اما یافته نشان داد به تحقیقـات بیشـتری در مـورد اثـرات تلفن‌های همراه بر باروری مردان نیاز است (۲۴).

در مطالعه‌ی دیگر به‌منظور بررسی اثرات امـواج تلفـن همراه بر متابولیسم رادیکال‌هـای آزاد و کیفیـت اسـپرم از موش صحرایی نر آلبینو ویسـتار (۱۰-۱۲ هفتـه) اسـتفاده شد و حیوانات به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شـدند و قفس با کف چوبی نگهـداری شـدند تـا اثـرات ناشـی از گرمای ساطع‌شده از تلفن همراه حذف شود و تنهـا اثـرات ناشی از امواج بررسی شود. گروه تجربی به مدت ۱ سـاعت در روز، به مدت ۲۸ روز در معرض امواج تلفن همراه فعال GSM (0.9/1.8 GHz) قـرار گرفتنـد. حیوانـات گـروه کنترل نیز در همان مدت در معرض یک تلفن همراه بدون

باتری قرار گرفتند. حیوانات ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار و مواجهه با امواج تلفن همراه آسان‌کشی شدند و بافته‌ای موردنظر جهت بررسی برداشت شدند. نتایج نشان داد پس از یک ساعت قرار گرفتن در معرض تلفن همراه ، تغییر معنی‌داری در دمای ناحیه صورت رت‌ها در دو گروه موردمطالعه ایجاد نگردید همچنین تفاوت معنی‌داری در تعداد کل اسپرم بین گروه شاهد و گروه در معرض امواج مشاهده نشد. بااین‌حال، رت‌هایی که در معرض امواج بودند ،کاهش معنی‌داری را در میزان درصد اسپرم متحرک نشان دادند. علاوه بر این، قرار گرفتن در معرض امواج به افزایش معنی‌داری در پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش محتوای گلوتاتیون در بافت بیضه و اپیدیدیم منجر گردید. این محققین با توجه به نتایج تحقیقشان اعلام کردند،این‌گونه به نظر می‌رسد که امواج تلفن‌های همراه بر کیفیت مایع منی تأثیر منفی می‌گذارد و ممکن است باروری مردان را مختل نماید (۷).

اثرات میدان الکترومغناطیسی (۱/۹۵ گیگاهرتز) بر عملکرد بیضه در موش‌های صحرایی نر بررسی گردید. حیوانات پنج‌هفته‌ای به ۳ گروه ۲۴ تایی تقسیم شدند و کل بدن تحت تشعشعات با باند گسترده ۱/۹۵ گیگاهرتز (W-CDMA) تلفن همراه به مدت ۵ ساعت در روز، ۷ روز در هفته به مدت ۵ هفته (دوره از سن ۵ تا ۱۰ هفته، مربوط به بلوغ تولیدمثل در موش) قرار گرفتند. میانگین نرخ جذب ویژه کل بدن برای افراد به ترتیبW/kg ۴ /۰و ۰,۰۸ طراحی شد و گروه کنترل مواجهه ساختگی دریافت کردند. هیچ تفاوتی آماری معنی‌داری در افزایش وزن بدن یا وزن بیضه، اپیدیدیم، کیسه منی و پروستات در بین گروه‌ها وجود نداشت. تعداد اسپرم در بیضه و اپیدیدیم در گروه‌های در معرض میدان الکترومغناطیسی (EMF) کاهش پیدا نکرد و درواقع، تعداد اسپرم بیضه با ۰/۴ SAR به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. اختلالات حرکتی یا مورفولوژی اسپرم و ظاهر بافتی لوله‌های اسپرم‌ساز، از جمله مرحله چرخه اسپرم زایی، مشاهده نشد و درمجموع گزارش کردند این شرایط باعث اختلال در عملکرد بیضه‌ها نشد (۲۰).

اثرات آنتی‌اکسیدانیEGb761 بر رادیکال‌های آزاد ناشی از تابش تلفن همراه بررسی گردید. EGb761دارای خواص آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان یک پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد است. تابش الکترومغناطیسی تلفن همراه (EMR) باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شود.در این مطالعه ۲۱ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار آلبینو به سه گروه (کنترل، تجربی، تیمار) شامل هفت موش در هر گروه تقسیم شدند. گروه تجربی و تیمار به مدت شش هفته (۴ ساعت در روز) در معرض EMR تلفن همراه (۰,۹۶ W/kg) قرار گرفتند. Egb761 (100 mg/kg/day) نیز در گروه آزمایش به‌عنوان آنتی‌اکسیدان استفاده شد جهت آنالیز از نمونه بیضه‌ها، مایع منی اپیدیدیم و پلاسمای خون نمونه‌ها تهیه کردند و نتایج تحقیقات این پژوهش نشان داد که قرار گرفتن در معرض تابش تلفن همراه منجر به اختلال قابل‌توجهی در مورفومتری بیضه و ساختار بافت‌شناسی، کاهش تعداد اسپرم‌های کل و متحرک و سطح تستوسترون پلاسما می‌شود و تجویز Egb761آسیب بیضه را بهبود می‌بخشد و منجر به افزایش قابل‌توجه سطح تستوسترون پلاسما و تعداد کل و متحرک اسپرم خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دستگاه تناسلی مردان نسبت به تابش تلفن همراه حساس است. امواج تلفن همراه اثرات سمی در بافته‌ای بیضه ایجاد می‌کند و اسپرم زایی را مختل می‌کند و باعث عدم تعادل در سطح هورمون تستوسترون می‌شود. Egb761 این اثرات سمی را با معکوس کردن آسیب بافت بیضه، بازگرداندن اسپرماتوژنز طبیعی و سطوح هورمونی بهبود می‌بخشد. این نشان می‌دهد که Egb761 یک عامل درمانی بالقوه

در برابر سمیت تولیدمثلی مردان ناشی از EMR است (۲۵).

تأثیرات امواج تلفن همراه بر متغیرهای آنالیز اسپرم

در یک پژوهش، تأثیر استفاده از تلفن همراه بر کیفیت مایع منی و پارامترهای اسپرم در ۲۸۸۶ مرد جوان سوئیسی بررسی شد. شرکت‌کنندگان نمونه منی ارائه دادند و اطلاعاتی درباره سبک زندگی، مدت و دفعات استفاده از تلفن همراه و محل نگهداری آن ارائه کردند. تحلیل آماری نشان داد که استفاده بیشتر از تلفن همراه، به‌ویژه بیش از ۲۰ بار در روز، با کاهش غلظت و تعداد کل اسپرم همراه است. این ارتباط در سال‌های اولیه مطالعه قوی‌تر بود و با گذشت زمان و تغییر فناوری به نسل‌های جدید و کاهش توان خروجی تلفن‌ها، این اثر کاهش یافت. همچنین، ارتباطی بین استفاده از تلفن همراه و تحرک یا مورفولوژی اسپرم مشاهده نشد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده زیاد از تلفن همراه می‌تواند بر برخی پارامترهای باروری مردان تأثیر منفی داشته باشد (۱).

یک مطالعه مقطعی برای بررسی اثر تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی تولیدشده توسط تلفن‌های همراه بر پارامترهای مایع منی در ۱۶۳۴ مردی که در بخش غدد درون‌ریز تولیدمثل، بیمارستان زنان، دانشکده پزشکی، دانشگاه ژجیانگ، چین تحت معاینه منی قرار گرفتند، انجام شد. بر اساس نتایج این مطالعه، مدت استفاده روزانه از تلفن همراه ممکن است بر تحرک اسپرم تأثیر منفی بگذارد و باروری مردان را مختل کند (۲۶).

در مطالعه‌ای دیگر به بررسی اثر امواج الکترومغناطیس طیف بی‌سیم (G۴، G۵ و WiFi) منتشرشده توسط تلفن‌های هوشمند مدرن بر تحرک و زنده ماندن اسپرم و بررسی اینکه آیا این اثرات را می‌توان با استفاده از یک مانع فیزیکی یا فاصله کاهش داد پرداخته شد. در این تحقیق به بررسی نمونه‌های مایع منی از مردان بارور نورموزواسپرمی ۲۵-۳۵ ساله پرداخته شد و یک تلفن هوشمند نسل فعلی در حالت مکالمه به‌عنوان منبع امواج استفاده شد. تماس صوتی واتس‌آپ با استفاده از اتصال بی‌سیم G۴، G۵ یا WiFiانجام شد و به بررسی اثرات تلفن همراه بر روی نمونه مایع منی پرداخته شد. در این مطالعه نمونه‌های مایع منی بر اساس دستورالعمل‌های آزمایشگاهی سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۰ تجزیه‌وتحلیل شدند. نتایج نشان‌دهنده کاهش تحرک و زنده ماندن اسپرم‌های که در معرض WiFi بودند را نشان داد، اما قرار گرفتن در معرض G۴ یا G۵ کاهشی در میزان تحرک اسپرم و زنده ماندن آن‌ها نشان نداد. درمجموع نتایج نشان داد که گوشی‌های هوشمندی که از طیف WiFi برای انتقال داده استفاده می‌کنند بر تحرک و میزان زنده ماندن اسپرم تأثیر منفی می‌گذارند و اثرات مضری بر کیفیت مایع منی مردان دارند (۳).

تأثیر مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه بر نشانگرهای مختلف کیفیت مایع منی به بررسی ۳۶۱مرد که تحت ارزیابی ناباروری در کلینیک ناباروری بودند بررسی گردید. بر اساس استفاده از تلفن همراه این افراد به چهار گروه اول بدون استفاده. گروه دوم استفاده کمتر از۲ ساعت در روز؛ گروه سوم استفاده بین ۲تا ۴ساعت در روز. و گروه چهارم بیشتر از۴ ساعت در روز تقسیم شدند. سپس پارامترهای اسپرم (حجم، زمان مایع شدن، pH، ویسکوزیته، تعداد اسپرم، تحرک، زنده ماندن، و مورفولوژی) در گروه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که مقایسه میانگین تعداد اسپرم، تحرک، زنده ماندن و مورفولوژی طبیعی در چهار گروه مختلف کاربر تلفن همراه ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد و با افزایش مدت‌زمان تماس روزانه با تلفن همراه، در هر چهار گروه کاربر کاهش معنی‌داری در چهار پارامتر مورد ارزیابی ازلحاظ آماری مشاهده شد. درمجموع این محققین گزارش کردند که استفاده از تلفن

همراه باعث کاهش تعداد اسپرم، تحرک، زنده ماندن و مورفولوژی طبیعی، کیفیت مایع منی مردان خواهد شد و کاهش پارامترهای اسپرم وابسته به مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض روزانه با تلفن همراه و مستقل از کیفیت اولیه مایع منی بود (۱۵).

یک مطالعه کوهورت طولی بر روی ۱۵۳ مرد در یک کلینیک‌باروری دانشگاه بوستون، ماساچوست رابطه بین الگوهای استفاده از تلفن همراه و نشانگرهای کیفیت مایع منی را مورد بررسی قرار داد. اطلاعات مربوط به مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه، استفاده از هدست یا گوشی و محل بدنه‌ای که تلفن همراه در آن حمل شده است از طریق پرسشنامه مشخص شد. نمونه منی (n = ۳۵۰) جمع‌آوری و در محل مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. برای محاسبه نمونه‌های منی متعدد در هر مرد، از مدل‌های ترکیبی خطی با رهگیری‌های تصادفی برای بررسی ارتباط بین استفاده از تلفن همراه و پارامترهای مایع منی استفاده شد. به‌طورکلی، هیچ مدرکی برای ارتباط بین استفاده از تلفن همراه و کیفیت مایع منی وجود نداشت (۶).

همچنین در یک مطالعه‌ی دیگر ۲۷ نمونه منی بررسی شد و هر نمونه منی به‌طور مساوی به دو قسمت تقسیم شد. یکی از نمونه‌ها در معرض امواج الکترومغناطیس منتشرشده توسط یک تلفن همراه فعال ۹۰۰ مگاهرتز قرار گرفت و یک گروه به‌عنوان گروه کنترل امواج الکترومغناطیسی دریافت نکرد. غلظت و تحرک نمونه‌ها برای تجزیه‌وتحلیل اثرات امواج الکترومغناطیسی مقایسه شد. ارزیابی حرکت اسپرم در همه نمونه‌ها با استفاده از چهار معیار انجام شد: (الف) پیش‌رونده سریع، (ب) پیش‌رونده آهسته، (ج) غیرپیشرونده، (د) عدم تحرک. نتایج تغییرات آماری معنی‌داری در میزان حرکت اسپرم‌ها در گروه‌های دسته‌های پیش‌رونده سریع، پیش‌رونده آهسته و بدون تحرک اسپرم نشان دادند. قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیسی باعث کاهش کمی در حرکت سریع پیش‌رونده و آهسته پیش‌رونده اسپرم شد. همچنین باعث افزایش تعداد اسپرم بدون تحرک شد. تفاوت آماری معنی‌داری در غلظت اسپرم بین دو گروه وجود نداشت.درمجموع این محققین گزارش کردند که امواج الکترومغناطیسی ساطع‌شده از تلفن همراه بر تحرک اسپرم انسان تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این اثرات نامطلوب حاد امواج الکترومغناطیسی بر تحرک اسپرم، قرار گرفتن در معرض طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیسی ممکن است منجر به تغییرات رفتاری یا ساختاری سلول زایای مردانه شود.۲۲ این اثرات ممکن است در آینده زندگی مشاهده شوند و باید به‌طورجدی تری بررسی شوند (۱۹).

تأثیر استفاده از تلفن همراه بر باروری مردان تحت درمان ناباروری بررسی گردید. گروه‌های زیر از بین ۳۰۴ مرد تحت پوشش مطالعه انتخاب شدند: گروه اول ۹۹بیمار که از تلفن همراه استفاده نمی‌کردند، گروه دوم ۱۵۷مرد که به‌طور پراکنده از تلفن همراه برای مدت ۱-۲ سال استفاده کرده‌اند و گروه سوم ۴۸مرد که بیش از ۲ سال به‌طور منظم از تلفن همراه استفاده می‌کردند. در تجزیه‌وتحلیل اثر استفاده از تلفن همراه بر مایع منی، اشاره شد که افزایش درصد سلول‌های اسپرم مورفولوژی غیرطبیعی با مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض امواج ساطع‌شده توسط تلفن همراه مرتبط است. همچنین این تحقیقات نشان داد که کاهش درصد سلول‌های اسپرم متحرک پیش‌رونده در مایع منی با مدت‌زمان زیاد استفاده از تلفن همراه مرتبط است (۲).

اثرات امواج تلفن همراه بر سلول‌های اسپرم موش صحرایی پرداختند و مطالعه‌ای بر روی شانزده موش صحرایی نر ۳ ماهه Sprague-Dawley با وزن ۲۵۰-۳۰۰ گرم انجام دادند. موش‌های گروه تجربی به مدت ۱۸ هفته در معرض دو دوره ۳ ساعته روزانه امواج تلفن همراه ارزیابی گردید. سپس نمونه‌های اسپرم برای ارزیابی

جمع‌آوری شد.در این مطالعه بـه بررسـی ارزیـابی تحـرک اسپرم، مورفولوژی اسپرم، تعداد اسپرم و سطوح mRNA برای اتصال دو پروتئین چسبنده به سطح سـلول پرداختـه شد و نتایج نشان داد که موش‌هایی که به مدت ۱۸ هفتـه در معرض ۶ ساعت روزانه در معرض امواج تلفن همراه قرار گرفتند بررسی آماری افـزایش معنـی‌دار در مـرگ سـلولی اسپرم گروه تجربی را نسبت بـه موش‌هـای گـروه کنتـرل نشان دادند. علاوه بر ایـن، تجمـع غیرطبیعـی سـلول‌های اسپرم در موش‌هایی که در معرض امواج تلفن همراه بودند گزارش شد کـه ایـن تجمـع غیرطبیعـی اسـپرم در گـروه کنترل وجود نداشت. درمجموع ایـن نتـایج نشـان داد کـه حمل تلفن همراه در نزدیکی اندام‌های تناسلی می‌تواند بـر باروری مردان تأثیر منفی بگذارد (۲۷).

در یک مطالعه به تعیین تأثیر امواج الکترومغناطیسی ایستگاه‌های تلفن همراه بر چند پـارامتر اسـپرم و دسـتگاه تناسلی مردانه پرداخته شد. در این مطالعه مشـاهده‌ای بـر روی ۲۱۶ فرد ۱۸ تا ۶۰ ساله انجام شد و به دو گروه الـف (گروه مواجهه) که حداقل ۶ مـاه در نزدیکـی ایسـتگاه‌های دکـل تلفـن همـراه زنـدگی می‌کردنـد و گـروه ب (گـروه کنترل) از افرادی که در فاصـله ۱۰۰ متـری ایسـتگاه‌های برج تلفن همراه زنـدگی می‌کردنـد، تقسـیم شـدند. باشـد شرح‌حال جامع، ارزیابی بالینی و آزمایش آزمایشگاهی قرار گرفت. ازنظر شاخص مورفولوژی در گروه‌های موردمطالعه، گروه مواجهـه رونـد کـاهش درصـد مورفولـوژی نرمـال را نسبت به گروه کنترل نشان داد اما تفاوت آمـاری بـین دو گروه مشاهده نشد. با توجه بـه تحـرک کـل اسـپرمتحرک پیش‌رونـده اسـپرم در گروه‌هـای موردمطالعـه، گـروه در معرض روند کاهش تحرک کل اسپرم و تحرک پیش‌رونـده اسپرم در مقایسه با گروه کنترل را نشـان داد، امـا تفـاوت آماری بین دو گروه مشاهده نشد. درمجموع این محققـین گزارش کردنـد کـه شـیوه‌های نادرسـت زنـدگی شخصـی ازجمله قـرار گـرفتن در معـرض امـواج الکترومغناطیسـی باعث روند کاهشی در میزان درصد مورفولـوژی طبیعـی و کاهش تحـرک اسـپرم‌ها می‌شـود، اگرچـه در مقایسـه بـا جمعیت‌های کنترل ازنظر آماری معنی‌دار نیست (۲۳).

بررسی امواج تلفن همراه بر اسپرم در سطح ساختاری و مولکولی

تأثیر تشعشعات تلفن همراه3Gبر سیسـتم تولیـدمثل موش‌های صحرایی نر ویسـتار مطالعـه گردیـد. موش‌هـای صحرایی بالغ بـه دو گـروه کنتـرل و در معـرض فرکـانس رادیویی تقسیم شدند. حیوانات به مدت ۴۵ روز (۲ ساعت در روز) در شرایط استاندارد در معرض تابش تلفـن همـراه 3Gقـرار گرفتنـد و پارامترهـای مختلـف بیوشـیمیایی و فیزیولوژیکی مانند تعداد اسپرم، مورفولوژی اسپرم، فعالیت میتوکنـدری، پراکسیداسـیون لیپیـدی، سـطح گونـه‌های اکسیژن فعال و آنالیز هیستوپاتولوژیک مورد ارزیـابی قـرار گرفتند. بررسی هیستوپاتولوژیک کاهش سلول‌های اسـپرم زا و تغییـرات در غشـای اسـپرم را نشـان داد. افـزایش معنی‌داری در ROS و سطح پراکسیداسـیون لیپیـدی بـا کاهش هم‌زمان تعداد اسـپرم، تغییـرات در مورفولـوژی دم اسپرم در گروه تحت تأثیر امواج مشـاهده شـد. درنتیجـه، قرار گرفتن در معرض تشعشعات تلفن همراه باعـث ایجـاد اسـترس اکسـیداتیو در موش‌هـای صـحرایی نـر ویسـتار می‌شود که ممکن اسـت منجـر بـه تغییـر در پارامترهـای اسپرم شود و باروری آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۸).

اثرات تلفن همراه بـر پارامترهـای اسـپرم، قطعه‌قطعـه شدن DNA و آپوپتوز در اسپرم بررسـی شـد. نمونـه‌های اسپرم طبیعی به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شـدند. نمونـه‌ها بـه مـدت ۶۰ دقیقـه در فاصـله تقریبـی ۲,۵ سانتی‌متری از تلفن همـراه در موقعیـت آنـتن فعـال قـرار گرفتند. نمونه‌های کنترل در معرض تلفن‌های همراه بدون آنـتن فعـال قـرار گرفتنـد. تمـامی نمونـه‌ها بـا معیارهـای سازمان بهداشت جهانی آنالیز شدند و زنده مانـدن اسـپرم، اسپرم با ناهنجـاری و بلـوغ کروماتین، قطعه‌قطعـه شـدن

DNA و آپوپتوز در نمونه‌های اسپرم مورد بررسی قرار گرفت. این محققین گزارش کردند امواج تلفن همراه بر ویژگی‌های بیولوژیکی اسپرم انسان تأثیر مخربی دارد و توصیه می‌شود تا حد امکان تلفن همراه از لگن دور نگهداری شود (۴).

پژوهشی نشان داد درصورتی‌که اسپرم‌های جداشده از انسان در معرض تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی با شدت ۱,۸ گیگاهرتز و پوشش طیفی از نرخ‌های جذب خاص از ۰/۴ W/kg تا ۲۷/۵ W/kg قرار داده شوند با افزایش نرخ جذب خاص، میزان تحرک و میزان اسپرم زنده پس از قرار گرفتن در معرض تشعشعات الکترومغناطیس فرکانس رادیویی به‌طور قابل‌توجهی کاهش معنی‌داری خواهد یافت و میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال در میتوکندری و میزان تکه‌تکه شدن DNA به‌طور قابل‌توجهی افزایش معنی‌داری خواهد یافت. همچنین این محققین ارتباط بین نرخ جذب خاص، آسیب‌های اکسیداتیو DNA و قطعه‌قطعه شدن DNA را پس از قرار گرفتن در معرض تشعشعات الکترومغناطیس فرکانس رادیویی را گزارش کردند. تابش الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی هم در فرکانس بالا و هم در محدوده فرکانس تلفن‌های همراه، تولید گونه‌های اکسیژن فعال میتوکندری را توسط اسپرم‌های انسانی افزایش می‌دهد، حرکت و میزان زنده ماندن سلول‌ها را کاهش می‌دهد و درعین‌حال تجمع DNAآسیب‌دیده و درنهایت تکه‌تکه شدن DNA را تحریک می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد استفاده از تلفن همراه توسط مردان در سن باروری به‌طور بالقوه بر باروری مردان و سلامت و فرزندان آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۱۳).

اثرات امواج الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی تلفن همراه در حالت مکالمه بر روی منی انزال نشده انسان ارزیابی گردید. مطالعه در مرکز آزمایشگاه پزشکی تولیدمثل در محیط بیمارستان بر روی نمونه‌های منی از اهداکنندگان سالم (۲۳ نفر) و بیماران نابارور (۹ نفر) انجام شد. پس از مایع سازی، نمونه‌های منی شسته شده به دو قسمت تقسیم شدند. یک بخش (آزمایشی) از هر بیمار به مدت ۱ ساعت در معرض تابش تلفن همراه (در حالت مکالمه) قرار گرفت و نمونه دوم به‌عنوان نمونه کنترل تحت شرایط یکسان با گروه آزمایش اما بدون تابش امواج تلفن همراه قرار گرفت. ارزیابی پارامترهای اسپرم (تحرک، زنده ماندن)، گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (TAC)منی،امتیاز ROS-TACو آسیبDNA اسپرم در نمونه‌های دو گروه مورد بررسی قرار گرفت.نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌های که در معرض امواج الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی بودند، کاهش قابل‌توجهی در تحرک و زنده ماندن اسپرم، افزایش سطح ROS و کاهش امتیاز ROS-TAC نشان دادند و اختلاف معنی‌دار آماری با گروه کنترل نشان دادند، اما سطوح TAC و آسیبDNA تفاوت معنی‌داری با گروه کنترل نشان نداد.نتایج نشان دادند که امواج الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی ساطع‌شده از تلفن‌های همراه ممکن است منجر به استرس اکسیداتیو در مایع منی انسان شود و به نظر می‌رسد که نگه‌داشتن تلفن همراه در جیب شلوار در حالت مکالمه ممکن است بر اسپرم تأثیر منفی بگذارد و باروری مردان را مختل کند (۲۸).

تأثیر امواج تلفن همراه بر کیفیت و متیلاسیون DNA اسپرم انسان در شرایط آزمایشگاهی بررسی گردید. در این تحقیق با توجه به استانداردهای آزمایشگاهی WHO به بررسی مایع منی ۹۷ داوطلب مرد با پارامترهای طبیعی مایع منی را موردمطالعه قرار دادند. جهت این مطالعه نمونه منی از افراد موردمطالعه را به دو قسمت مساوی تقسیم کردند و یک قسمت در معرض تشعشعات تلفن همراه در (۱۹۵۰ مگاهرتز، SAR3. 0 W/kg به مدت ۳ ساعت) و نمونه دوم به‌عنوان گروه

کنترل هیچ نوع تشعشعاتی را دریافت نکردند. سپس پارامترهای معمول منی و همچنین توانایی واکنش آکروزومی، آپوپتوز و متیلاسیون DNA اسپرم بین دو گروه مقایسه شد. درمجموع نتایج نشان داد که تشعشعات تلفن همراه باعث کاهش تحرک پیش‌رونده و زنده ماندن اسپرم انسان و افزایش نقص سر اسپرم و آپوپتوز زودرس سلول‌های اسپرم می‌شود (۱۶).

تأثیر مستقیم تشعشعات تلفن همراه در شرایط آزمایشگاهی بر تکه‌تکه شدن و پارامترهای حرکتی DNA اسپرم در افراد سالم مبتلا به نورموزواسپرمی بررسی گردید. در این مطالعه ۳۲ مرد سالم با پارامترهای مایع منی طبیعی برای مطالعه انتخاب شدند. هر نمونه اسپرم به دو قسمت مساوی (A و B) تقسیم شد. نمونه A به مدت ۵ ساعت در یک ترموستات قرار گرفتند، و نمونه B برای همان مدت‌زمان در ترموستات دوم در معرض یک تلفن همراه در حالت آماده‌به‌کار/گفتگو قرار گرفت. پس از ۵ ساعت انکوباسیون، نمونه‌های اسپرم از هر دو ترموستات با توجه به پارامترهای حرکتی پایه مجدداً ارزیابی شدند. وجود قطعه‌قطعه شدن DNA در هر دو بخش A و B هر نمونه هر ساعت با استفاده از تست استاندارد پراکندگی کروماتین اسپرم تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد تعداد اسپرم‌های با حرکت پیش‌رونده در گروه تحت تأثیر تابش الکترومغناطیسی، ازنظر آماری کمتر از تعداد اسپرم‌های با حرکت پیش‌رونده در گروه بدون تأثیر تشعشعات تلفن همراه است و اختلاف آماری معنی‌داری را نشان دادند و تعداد اسپرم‌های غیر پیش‌رونده در گروهی که تحت تأثیر تشعشعات تلفن همراه بود، ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد و به‌طور قابل‌توجهی تعداد آن‌ها بیشتر بود. قطعه‌قطعه شدن DNA نیز در این گروه به‌طور قابل‌توجهی بالاتر بود و اختلاف معنی‌داری با گروه کنترل داشت (۱۷).

آسیبDNA سلول‌های زایای مرد در اثر تابش تلفن همراه مطالعه گردید و همچنین به اثر پیش درمانی ملاتونین بر این سلول‌ها پرداخته شد. در این تحقیق یک رده سلولی GC-2 مشتق از اسپرماتوسیت موش هر ۲۰ دقیقه یک‌بار در حالت آماده‌به‌کار، گوش دادن، شماره‌گیری یا شماره‌گیری به مدت ۲۴ ساعت در معرض یک گوشی تلفن همراه تجاری قرار گرفت. برای ارزیابی آسیبDNA از روش alkaline comet استفاده شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد سطوح آسیبDNA به دنبال قرار گرفتن در معرض تشعشعات تلفن همراه در حالت‌های گوش دادن، شماره‌گیری و شماره‌گیری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و اختلاف داری با گروه کنترل نشان داد. علاوه بر این، افزایش قابل‌توجهی در حالت‌های شماره‌گیری و شماره‌گیری نسبت به حالت گوش دادن وجود داشت. جالب اینجاست که این نتایج با شدت تابش این حالت‌ها مطابقت داشت. بااین‌حال، اثرات آسیب تشعشعات تلفن همراه بر DNA در حالت شماره‌گیری به‌طور مؤثر با پیش درمانی ملاتونین کاهش یافت. این نتایج در مورد آسیبDNA وابسته به حالت، پیامدهای مهمی برای ایمنی استفاده نامناسب از تلفن همراه توسط مردان در سنین باروری دارد و همچنین یک اقدام پیشگیرانه ساده را پیشنهاد می‌کند که دور نگه‌داشتن تلفن همراه از بدن تا حد امکان، نه‌تنها در حین مکالمه بلکه در طول حالت‌های عملیات "شماره‌گیری" ازآنجایی‌که حالت "شماره‌گیری" درواقع بخشی از حالت آماده‌به‌کار است، تلفن‌های همراه باید در فاصله ایمن از بدن ما حتی در هنگام کار در حالت آماده‌به‌کار نگه داشته شوند. علاوه بر این، نقش محافظتی ملاتونین نشان می‌دهد که ممکن است یک نامزد دارویی امیدوارکننده برای جلوگیری از اختلالات تولیدمثلی مرتبط با استفاده از تلفن همراه باشد (۱۸).

در یک مطالعه به بررسی اثرات امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه بر روی اسپرم‌های انسانی پرداخته شد و (تحرک و متغیرهای حرکتی اسپرم) پس از ۱ ساعت قرار گرفتن در معرض EMW ۱۹۵۰ مگاهرتز (W-CDMA) و با نرخ‌های جذب خاص ۲/۰ یا ۶/۰ W کیلوگرم پرداخته شد و مورد تجزیه قرار گرفت، با استفاده از یک سیستم کامپیوتری تجزیه‌وتحلیل اسپرم‌ها انجام شد. جهت بررسی میزان درصد آسیب به DNA اسپرم‌های ۸-هیدروکسی-۲'-دئوکسی گوانوزین (۸-OHdG) مثبت با فلوسیتومتری اندازه‌گیری شد و میزان آسیب به DNA ارزیابی شد. نتایج تفاوت معنی‌داری بین گروه که در معرض تشعشعات تلفن همراه قرار گرفتند و گروه کنترل را ازنظر میزان آسیب به DNA تحرک اسپرم، متغیرهای جنبشی یا سطوح ۸-OHdG نشان نداد. نتایج این محققین نشان داد که قرار گرفتن در معرض تشعشعات تلفن همراه به مدت ۱ ساعت در شرایط کنترل‌شده با دما هیچ اثر قابل‌تشخیصی بر روی اسپرم طبیعی انسان ندارد. تفاوت در شرایط قرار گرفتن در معرض تشعشعات، رطوبت، کنترل دما، ویژگی‌های اولیه اسپرم، و سن اهداکنندگان ممکن است ناهماهنگی نتایج این تحقیق با مطالعات قبلی باشد (۲۹).

اثرات تشعشعات تلفن همراه بر القای خواص مرتبط با آپوپتوز در اسپرم انسان بررسی گردید. اسپرم‌های انسانی انزال‌شده، خالص‌شده با چگالی و بسیار متحرک در معرض تشعشعات تلفن همراه با نرخ‌های جذب خاص (SARs) ۲/۰ و ۵/۷ وات بر کیلوگرم قرار گرفتند. در زمانه‌ای مختلف پس از قرار گرفتن در معرض تشعشعات، از فلوسیتومتری برای بررسی فعالیت کاسپاز ۳، فسفاتیدیل‌سرین (PS)، القای شکستن رشته‌های DNA و تولید گونه‌های اکسیژن فعال استفاده شد. تشعشعات تلفن همراه بر هیچ‌یک از پارامترهای موردمطالعه اثر آماری معنی‌داری نداشت. این نشان می‌دهد که اختلال در باروری گزارش‌شده در برخی از مطالعات ناشی از القای آپوپتوز در اسپرم نبوده است (۲۱).

در یک مطالعه ۱۲ موش ۷۰ روزه ویستار را به دو گروه تجربی و کنترل تقسیم شدند، گروه تجربی به مدت ۲ ساعت در روز به مدت ۴۵ روز در معرض فرکانس رادیویی تلفن همراه قرار گرفتند و داده‌ها در مقایسه با گروه شم قرار گرفتند. کاهش آماری معنی‌داری ($P <$ ۰/۰۵) در سطح تستوسترون و افزایش فعالیت کاسپاز ۳ در حیوانات در معرض تشعشعات تلفن همراه یافت شد. ناهنجاری در سر اسپرم و قطعه میانی غلاف میتوکندری اسپرم نیز با میکروسکوپ الکترونی (TEM) مشاهده شد. علاوه بر این، نتایج موش‌های در معرض تشعشعات تلفن همراه کاهش قابل‌توجهی در تعداد و وزن در مقایسه با حیوانات در معرض شم نشان داد. کاهش تستوسترون، افزایش کاسپاز ۳ و ناهنجاری در اسپرم می‌تواند ناشی از تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در حیوانات تحت قرار گرفتن در معرض تشعشعات تلفن همراه باشد. یافته‌ها در مورد این نشانگرهای زیستی نشانه‌های واضحی از پیامدهای بهداشتی احتمالی قرار گرفتن مکرر در معرض تشعشعات تلفن همراه است (۱۲). سایر مطالعات انجام شده در جدول زیر آمده است (جدول ۱).

جدول ۱. خلاصه نتایج مطالعات انجام شده

ردیف	محقق و سال فعالیت	فاکتورهای مورد بررسی	نتایج به‌دست‌آمده	منبع
۱	Aitken و همکاران ۲۰۰۵	بررسی اثرات بیولوژیکی تشعشعات تلفن همراه بر آسیبDNA سلول‌های زایای موش نر با روش PCR کمی و الکتروفورز	اگرچه تشعشعات تلفن همراه تأثیر چشمگیری بر رشد سلول‌های زایای مردانه ندارد اما باعث آسیب به ژنوم میتوکندری و ژن بتاگلوبین هسته ای شده و اثر ژنوتوکسیک قابل‌توجهی بر اسپرم‌های اپی دیدیم ایجاد می‌کند.	۳۰
۲	Kesari و همکاران	بررسی تأثیر تشعشعات تلفن همراه بر موش‌های	کاهش فعالیت پروتئین کیناز در سلول‌های اسپرم ممکن است	۳۱

	۲۰۱۰	صحرایی ویستار	مربوط به تولید بیش‌ازحد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در اثر مواجهه با تشعشعات تلفن همراه باشد و درنتیجه با کاهش تعداد اسپرم و افزایش آپوپتوز اسپرم ممکن است منجر به ناباروری مردان شود.	
۳	Kesarو همکاران ، ۲۰۱۱	بررسی تشکیل رادیکال‌های آزاد در مواجهه با تلفن همراه بر الگوی باروری در موش‌های صحرایی	امواج الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی باعث افزایش آنتی‌اکسیدان‌های مالون دی آلدئید، هیستون کیناز میکرونوکلئی و چرخه سلولی اسپرم شده که نشانه یک الگوی ناباروری به دلیل تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن است.	۳۲
۴	مرتضوی و همکاران، ۲۰۱۳	بررسی تأثیر کوتاه‌مدت پرتوهای رادیو فرکانس و ساطع‌شده توسط جَمرهای متحرک بر نمونه‌های اسپرم انسان	تحرک نمونه‌ها در گروه تحت تابش تشعشعات به مدت ۲ تا ۴ ساعت کاهش نشان دادند و اختلاف معنی‌داری با گروه کنترل داشتند.	۳۳
۵	Rago و همکاران ۲۰۱۳	بررسی مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه بر پارامترهای اسپرم	افزایش زمان استفاده از تلفن همراه باعث تغییر معنی‌داری در پارامترهای اصلی اسپرم (چگالی، تعداد کل، مورفولوژی و آپوپتوز...) نشد. اما تکه‌تکه شدن DNA اسپرم با استفاده بیشتر از ۴ ساعت در روز از تلفن همراه بخصوص در افرادی که در جیب شلوار دستگاه را قرار می‌دادند تغییر آماری قابل‌توجهی را نشان داد.	۳۴
۶	Yildirin و همکاران ۲۰۱۵	بررسی اثرات تابش امواج تلفن همراه و اینترنت بی‌سیم بر پارامترهای اسپرم	کاهش تعداد کل اسپرم و تعداد اسپرم‌های متحرک پیش‌رونده با افزایش استفاده از تلفن همراه و اینترنت بی‌سیم مشاهده شد.	۳۵
۷	BinMeferijو همکاران ۲۰۱۵	بررسی اثرات امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه بر باروری موش‌های صحرایی و بررسی عصاره برگ مورینگا اولیفرا غنی از پلی فسفرلیک در محافظت از بیضه موش صحرایی	درمان با عصاره آبی مورینگا موش‌های صحرایی در معرض میدان ۹۰۰ مگا هرتز نشان داد درمان باعث بهبود قابل‌توجه در پارامترهای اسپرم ، تغییرات مثبت بر آسیب‌های بافتی و کاهش آپوپتوز در بافت بیضه شد.	۳۶
۸	Pandey و همکاران ۲۰۱۸	بررسی تأثیر امواج رادیو فرکانس ۹۰۰ مگا هرتز تلفن همراه و مکمل ملاتونین بر رشد سلول‌های زایای اسپرم موش آلبینوسوسیس	نتایج آسیب گسترده DNA سلول‌های زایای اسپرم را نشان داد که درنهایت منجر به کاهش تعداد اسپرم و ناهنجاری‌های سر اسپرم می‌شود. و تولید رادیکال‌های آزاد باعث تغییرات بافتی بیضه و سلول‌های زایای اسپرم می‌شود که استفاده از مکمل ملاتونین باعث کاهش آسیب و بهبود اسپرماتوژنز می‌شود.	۳۷
۹	Kaur و همکاران ۲۰۲۳	مطالعه ژئوتوکسیک احتمالی ناشی از میدان الکترومغناطیسی تلفن همراه و ماکروویو و ... فرکانس رادیویی بر ناباروری مردان در محیط In vitro و In vivo	امواج الکترومغناطیسی باعث ناهنجاری‌های کروموزومی ، تشکیل ریز هسته، تولید ROS ، آسیبDNA در اسپرم و انتقال متقاطع بین DNA و پروتئین می‌شوند.	۳۸
۱۰	Keskin و همکاران، ۲۰۲۴	بررسی اثر مستقیم تابش ۹۰۰ مگاهرتز ساطع‌شده از تلفن همراه بر پارامترهای اسپرم، وضعیت ژنتیکی، مسیر سیگنالینگ PI3K/AKT اپوپتوز در مردان سالم نوروزپرمیک	مواجهه با تشعشعات تلفن همراه باعث تغییرات در ساختار و فراساختار اسپرم می‌شود که درمجموع باعث افزایش میزان ناباروری در مردان می‌شود	۳۹
۱۱	Butkovic و همکاران ۲۰۲۴	بررسی تأثیر فرکانس 5Gتلفن همراه بر آسیبDNA و حیات اسپرم گراز نژاد پیترن	مواجه با فرکانس 5G تشعشعات تلفن همراه میزان قطعه‌قطعه شدن DNA را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد و نشان داده شد آسیب به DNA اسپرم وابسته به فرکانس است.	۴۰
۱۲	Gautam و همکاران ۲۰۲۴	بررسی تأثیر تلفن همراه 5G بر سیستم تولیدمثل موش صحرایی و بررسی پارامترهای اسپرم تعداد، زنده ماندن، مورفولوژی سر، فعالیت میتوکندری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و بر اکسیداسیون لیپیدهای اسپرم و هیستوپاتولوژی بیضه	در بیضه موش‌های در معرض تشعشعات که کاهش معنی‌داری در میزان زنده ماندن اسپرم،تغییرات بافت‌شناسی ، کاهش سطح تستوسترون، ظرفیت کلی آنتی‌اکسیدانی، کاهش عملکرد میتوکندری اسپرم، افزایش پراکسیداسیون لیپید اسپرم و ناهنجاری‌های اسپرم	۴۱

۱۳	Yilmaz و همکاران ۲۰۲۵	بررسی تأثیر امواج5Gتلفن همراه بر شبکه اندوپلاسمی سلول‌های بافت بیضه و تأثیر کوآنزیم Q10 در سرکوب تأثیرات منفی تشعشعات 5G تلفن همراه	مشاهده آسیب‌های هیستوپاتولوژیک ازجمله ادم، احتقان عروقی، التهاب، از بین رفتن سلول‌های رده اسپرمی بخصوص اسپرماتید و اسپرماتوزوا و واکنش‌های ایمنی سلولی در سلول‌های لوله منی ساز و اپی تلیال ژرمینال و توانایی آنتی‌اکسیدانی Q10 در سرکوب استرس اکسیداتیو و آپوپتوز در برابر آسیب شبکه اندوپلاسمی ناشی از اشعه 5G تلفن همراه	۴۲

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه به‌طور بالقوه می‌توانند بر پارامترهای مختلف باروری مردان، ازجمله تعداد، تحرک و مورفولوژی اسپرم، تأثیر منفی بگذارند. شواهد حاکی از آن است که قرار گرفتن در معرض امواج، به‌ویژه در زمان و دفعات بالا، با کاهش قابل‌توجهی در تعداد اسپرم و نیز کاهش تحرک آن همراه است. این یافته‌ها در مطالعات حیوانی و انسانی مورد تأیید قرار گرفته و نشان می‌دهد که با افزایش مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه، میزان این تأثیرات نیز بیشتر می‌شود.

مکانیسم احتمالی اثر امواج تلفن همراه بر باروری مردان، از طریق افزایش استرس اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در بافت بیضه و مایع منی است. این تغییرات می‌توانند به آسیب ساختاری به DNA اسپرم و اختلال در عملکرد طبیعی آن منجر شوند. همچنین، برخی مطالعات نشان داده‌اند که قرار گرفتن در معرض امواج تلفن همراه می‌تواند باعث تغییرات هیستوپاتولوژیک در بافت بیضه، کاهش سطح هورمون تستوسترون و اختلال در فرآیند اسپرماتوژنز شود. این تغییرات به‌طورکلی زمینه‌ساز کاهش کیفیت مایع منی و افزایش احتمال ناباروری در مردان است.

علاوه بر این، نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که محل قرارگیری تلفن همراه و نحوه استفاده از آن نیز در شدت تأثیرات منفی نقش دارد. به‌عنوان‌مثال، حمل تلفن همراه در نزدیکی اندام‌های تناسلی یا استفاده طولانی‌مدت از آن به‌ویژه در حالت مکالمه، با افزایش احتمال آسیب به اسپرم همراه است. همچنین، نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که حتی در شرایطی که اثرات منفی بر تعداد و تحرک اسپرم مشاهده می‌شود، ممکن است تغییرات در مورفولوژی اسپرم چندان بارز نباشد، اما درمجموع این تأثیرات می‌توانند در طولانی‌مدت بر باروری مردان اثرگذار باشند.

درنهایت، با وجود برخی نتایج متناقض و تفاوت در میزان تأثیر امواج تلفن همراه در مطالعات مختلف، اکثر شواهد نشان می‌دهد که این امواج به‌طور بالقوه می‌توانند بر باروری مردان تأثیر منفی داشته باشند. به نظر می‌رسد که با پیشرفت فناوری و کاهش توان خروجی تلفن‌های همراه جدید، شدت این تأثیرات کاهش یافته است، اما همچنان نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه بررسی دقیق مکانیسم‌های پاتوفیزیولوژیک و عوامل مداخله‌گر وجود دارد تا بتوان راهکارهای مؤثری برای کاهش خطرات احتمالی ناشی از استفاده از تلفن‌های همراه بر سلامت باروری مردان ارائه داد.

به‌طور خلاصه، در مطالعات انجام شده نظرات متفاوتی در رابطه با پاتوژنز تشعشعات تلفن همراه بر روی تولیدمثل مردان و ایجاد نازایی در مردان وجود دارد. این تشعشعات از طریق آسیب در ساختار ماکروملکول DNA اسپرم و همچنین با تولید رادیکال‌های آزاد استرس اکسیداتیو به تغییرات هیستوپاتولوژیک در بیضه منجر می‌شود درنتیجه بر روی کیفیت اسپرم تأثیر می‌گذارد و باعث ناهنجاری در مورفولوژی ،میزان حرکت و تعداد اسپرم خواهد شد. یافته‌های مطالعات انجام شده نشان می‌دهد مجاورت با امواج تلفن همراه با افزایش دما باعث

کاهش قابل‌توجهی در تعداد اسپرم متحرک منجر گردیده است. همچنین مدت‌زمان استفاده از تلفن همراه محل قرار دادن و نحوه استفاده از تلفن همراه نیز در میزان ناباروری منتج از امواج تلفن همراه تأثیر مستقیمی‌دارد. با وجود مطالعات بسیاری که در این زمینه انجام گرفته است به تحقیقات بیشتری جهت بررسی تغییرات در سطح ساختاری و فراساختاری تأثیرات امواج تلفن همراه در زمینه پاتوژنز ناباروری مردان از دیدگاه بالینی مورد نیاز است و با توجه به اهمیت موضوع و استفاده وسیع از تلفن همراه بررسی راهکارهایی جهت کاهش این مشکل مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمام کسانی که در ویرایش این مقاله همکاری داشته‌اند قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسنده اظهار می‌دارد که هیچ تعارض منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد

حمایت مالی

پژوهشگر از هیچ سازمانی حمایت مالی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام مراحل تهیه مقاله طراحی انجام تحقیقات و نگارش مقاله توسط نسیم بیگی بروجنی انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش شامل ملاحظات اخلاقی نیست.

References

1. Rahban R ,Senn A, Nef S, Röösli M. Association between self-reported mobile phone use and the semen quality of young men. Fertil Steril. 2023;120(6):1181-92. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2023.09.009
2. Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. Ann Agric Environ Med. 2007;14(1):169-72. Link
3. Chu KY, Khodamoradi K, Blachman-Braun KR, Dullea A, BidhanJ, Campbell K, et al. Effect of radiofrequency electromagnetic radiation emitted by modern cellphones on sperm motility and viability: An in vitro study. Eur Urol Focus. 2023;9(1):69-74. DOI: 10.1016/j.euf.2022.11.004
4. Taheri M, Khalili MA, Mohebati AH, Zardast A, Hosseini M, Palmerini MG, et al. The detrimental effect of cell phone radiation on sperm biological characteristics in normozoospermic. Andrologia. 2022; 54(1):e14257. DOI: 10.1111/and.14257
5. Koohestanidehaghi Y, Khalili MA, Dehghanpour F, Mohammad Seify. Detrimental impact of cell phone radiation on sperm DNA integrity. Clin Exp Reprod Med. 2024;51(1):13-19. DOI: 10.5653/cerm.2023.06121
6. Lewis R, Alarcón ML, Meeker JD, Williams PL, Mezei G, Ford JB, et al. Self-reported mobile phone use and semen parameters among men from a fertility clinic. Reprod Toxicol. 2016;67:42-47. DOI: 10.1016/j.reprotox.2016.11.008
7. Mailankot M, Kunnath AP, Jayalekshmi H, Koduru B, Valsalan R. Radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMR) from GSM (0.9/1.8GHz) mobile phones induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats. Clinics. 2009;64(6):561-5. DOI: 10.1590/s1807-59322009000600011
8. Gautam R, Singh KV, Nirala J, Murmu NN, Meena R, Rajamani PP. Oxidativestress-mediated alterations on sperm parameters in male Wistar rats exposed to 3G mobile phone radiation. Andrologia. 2019; 51(3):e13201. DOI: 10.1111/and.13201
9. Jitendra A Behari. Biological responses of mobile phone frequency exposure. Indian J Exp Biol. 2010;48(10):959-81. Link
10. Derias E M B, Stefanis P, Drakeley A, Gazvani R, Lewis-Jones D I. Growing concern over the safety of using mobile phones and male fertility. Arch Androl. 2006;52(1):9-14. DOI: 10.1080/01485010500203717
11. Gutschi T, Mohamad Al-Ali B, Shamloul R, Pummer K, Trummer H. Impact of cell phone use on men’s semen parameters. Andrologia. 2011;43(5):312-6. DOI: 10.1111/j.1439-0272.2011.01075.x
12. Kesari KK, Behari J. Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: role of ROS. Electromagn Biol Med. 2012;31(3):213-22. DOI: 10.3109/15368378.2012.700292
13. De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. Mobile phone radiation

induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. PLoS One. 2009;4(7):e6446. DOI: 10.1371/journal.pone.0006446

14. Srivasatav S, Mishra J, Keshari P, Verma SH, Raina Aditi R. Impact of radiation on male fertility. Adv Exp Med Biol. 2022;1391:71-82. DOI: 10.1007/978-3-031-12966-7_5
15. Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK, Ranga G, Li J. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. Fertil Steril. 2008;89(1):124-8. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2007.01.166
16. Wang D, Li B, Liu BY, Ma YF, Chen SQ, Sun HJ, et al. Impact of mobile phone radiation on the quality and DNA methylation of human sperm in vitro. Zhonghua Nan Ke Xue. 2015;21(6):515-20. Link
17. Gorpinchenko I, Nikitin O, Banyra O, Shulyak A. The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality. Cent European J Urol. 2014;67(1):65–71. DOI: 10.5173/ceju.2014.01.art14
18. Liu C, Gao P, Xu SH, Wang Y, Chen CH, He M, et al. Mobile phone radiation induces mode-dependent DNA damage in a mouse spermatocyte-derived cell line: a protective role of melatonin. Int J Radiat Biol. 2013;89(11):993-1001. DOI: 10.3109/09553002.2013.811309
19. Erogul O, Oztas E, Yildirim I, Kir T, Aydur E, Komesli G, et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: an in vitro study. Arch Med Res. 2006;37(7):840-43. DOI: 10.1016/j.arcmed.2006.05.003
20. Imai N, Kawabe M, Hikage T, Nojima T, Takahashi S, Shirai T. Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones. Syst Biol Reprod Med. 2011;57(4):204-9. DOI: 10.3109/19396368.2010.544839
21. Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. Mobile phone radiation does not induce pro-apoptosis effects in human spermatozoa. Radiat Res. 2010;174(2):169-76. DOI: 10.1667/RR2091.1
22. Tas M, Dasdag S, Akdag MZ, Cirit U, Yegin K. Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality. Electromagn. Biol Med. 2014;33(3):216-22. DOI: 10.3109/15368378.2013.801850
23. Gharib TM, Almekaty K, Abdel AM, Abdel-Al I, Deif H, Hassan GM, et al. Effect of radiofrequency electromagnetic waves of mobile phone stations on male fertility. Arch Ital Urol Androl. 2024;96(3):12595. DOI: 10.4081/aiua.2024.12595
24. Oh JJ, Byun SS, Lee SE, Choe GH, Hong SK. Effect of electromagnetic waves from mobile phones on spermatogenesis in the era of 4G-LTE. Biomed Res Int. 2018.2018:1801798. DOI: 10.1155/2018/1801798

25. Gevrek F, Aydin D, Ozsoy S, Aygun H, Bicer C. Inhibition by Egb761 of the effect of cellphone radiation on the male reproductive system. Bratisl Lek Listy. 2017;118(11):676-83. DOI: 10.4149/bll_2017_128
26. Zhang SH, Mo F, Chang Y, Wu SH, Ma Q, Jin F, et al. Effects of mobile phone use on semen parameters: a cross-sectional study of 1634 men in China. Reprod Fertil Dev. 2022; 34(9):669-78. DOI: 10.1071/rd21234
27. Yan JG, Agresti M, Bruce T, Yan YH, Granlund A, Matloub HS. Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. Fertil Steril. 2007;88(4):957-64. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2006.12.022
28. Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, Mouradi R, Sabanegh E, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. Fertil Steril. 2009;92(4):1318-25. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2008.08.022
29. Nakatani-Enomoto S, Okutsu M, Suzuki S, Suganuma R, Groiss SJ, Kadowaki S, et al. Effects of 1950 MHz W-CDMA-like signal on human spermatozoa. Bioelectromagnetics. 2016;37(6):373-81. DOI: 10.1002/bem.21985
30. Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D, Wiklendt AM, King BV. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. Int J Androl. 2005;28(3):171-9. DOI: 10.1111/j.1365-2605.2005.00531.x
31. Kesari KK, Kumar S, Behari J. Mobile phone usage and male infertility in Wistar rats. Indian J Exp Biol. 2010;48(10):987-92. Link
32. Kesari KK, Kumar S, Behari J. Effects of radiofrequency electromagnetic wave exposure from cellular phones on the reproductive pattern in male Wistar rats. Appl Biochem Biotechnol. 2011;164(4);546-59. DOI: 10.1007/s12010-010-9156-0
33. Mortazavi SMJ, Parsanezhad ME, Kazempour M, Ghahramani P, Mortazavi AR, Davari M. Male reproductive health under threat short term exposure to radiofrequency radiations emitted by common mobile jammers. J Hum Reprod Sci. 2013;6(2):124-28. DOI: 10.4103/0974-1208.117178
34. Rago R, Salacone P, Caponecchia L, Sebastianelli A, Marcucci I, Calogero AE, et al. The semen quality of the mobile phone users. J Endocrinol Invest. 2013;36(11):970-4. DOI: 10.3275/8996
35. Yildirim ME, Kaynar M, Badem H, Cavis M, Karatas OF, Cimentepe E. What is harmful for male fertility: cell phone or the wireless Internet? Kaohsiung J Med Sci. 2015;31(9):480-4. DOI: 10.1016/j.kjms.2015.06.006
36. Bin-Meferij MM, El-kott AF. The radioprotective effects of Moringa oleifera against mobile phone electromagnetic radiation-

induced infertility in rats. Int J Clin Exp Med. 2015;8(8):12487-97. Link

37. Pandey N, Giri S. Melatonin attenuates radiofrequency radiation (900 MHz)-induced oxidative stress, DNA damage and cell cycle arrest in germ cells of male Swiss albino mice. Toxicol Ind Health. 2018;34(5):315-27. DOI: 10.1177/0748233718758092
38. Kaur P, Rai U, Singh R. Genotoxic risks to male reproductive health from radiofrequency radiation. Cells. 2023;12(4):594. DOI: 10.3390/cells12040594
39. Keskin I, Karabulut S, Kaplan AA, Alagöz M, Akdeniz M, KTüfekci K, et al. Preliminary study on the impact of 900 MHz radiation on human sperm: An in vitro molecular approach. Reprod Toxicol. 2024;130:108744. DOI: 10.1016/j.reprotox.2024.108744
40. Butković I , Vince S, Lojkić M, Folnožić I, Tur SM , Vilić M, et al. Effects of 5G radiofrequency electromagnetic radiation on indicators of vitality and DNA integrity of in vitro exposed boar semen. Theriogenology. 2024;230:243-49. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2024.09.025
41. Gautam R, Pardhiya S, Nirala JP, Sarsaiya P, Paulraj Rajamani P. Effects of 4G mobile phone radiation exposure on reproductive, hepatic, renal, and hematological parameters of male Wistar rat. Environ Sci Pollut Res Int. 2024;31(3):4384-99. DOI: 10.1007/s11356-023-31367-x
42. Yilmaz H, Levent Tümkaya L, Mercantepe T, Yılmaz A, Gül F, Suzan ZT. Effects of 5 G mobile phone network electromagnetic field exposure on testicular endoplasmic reticulum stress and the protective role of coenzyme Q10. Arch Med Res. 2025;56(4):103157. DOI: 10.1016/j.arcmed.2024.103157