

der Bestrahlung leichte, nicht-signifikante Abnahme in der Tympanon-Temperatur. Die Ergebnisse zeigen, dass das Studiendesign geeignet ist, die HRV unter Einwirkung von elektromagnetischen Feldern zu untersuchen. Eine frühere Studie mit 900-MHz-Uplink ergab eine ähnliche Wirkung. Die Daten zeigen, dass Kurzzeit-Bestrahlung unter den Bedingungen hier die Aktivität des Parasympathikus-Nervs steigert. Angesichts der weit verbreiteten Mobiltelefone sollte chronischer Langzeitbestrahlung mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Quelle:

Misek J, Belyaev I, Jakusova V, Tonhajzerova I, Barabas J, Jakus J (2018): Heart Rate Variability Affected by Radiofrequency Electromagnetic Field in Adolescent Students. *Bioelectromagnetics* 39, 277–288

Hochfrequenzwirkung auf Geschlechtsorgane

Einfluss von HF-EMF auf weibliche Geschlechtsorgane

2,45 GHz Hochfrequenzstrahlung könnte negative Auswirkung auf das Gewebe von Eierstöcken, Eileitern und Gebärmutter haben. Vitamin C könnte helfen, diese Auswirkungen zu minimieren.

Der zunehmende Einsatz elektronischer Geräte in den letzten Jahren hat unser modernes Leben erleichtert. Als Konsequenz hat sich jedoch die elektromagnetische Strahlung, die unseren Lebensraum belastet, stark erhöht. Die elektromagnetische Strahlung kann dazu führen, dass eine Vielzahl von biologischen Wirkungen im menschlichen Körper auftreten. So zeigen Studien, dass langfristige Mikrowellenbestrahlung unter anderem zu Nierenschäden, neurodegenerativen Erkrankungen, Einschränkung kognitiver Fähigkeiten und Kinderleukämie führen können. In den letzten zehn Jahren wurde publiziert, dass langfristige Exposition gegenüber elektromagnetischer Strahlung negative Auswirkungen auf das weibliche Fortpflanzungsorgan haben können. Des Weiteren existieren Berichte, dass oxidativer Stress, welcher Membranen beschädigen und zu programmiertem (Apoptose) oder pathologischem (Nekrose) Zelltod führen kann, durch die Belastung mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung entstehen kann. Antioxidative Schutzmechanismen des Körpers wirken oxidativem Stress entgegen. Eines der wichtigsten Antioxidantien ist Vitamin C. Dieses spielt eine Rolle bei diversen enzymatischen Reaktionen sowie entzündlichen Prozessen und Infektionen.

Die Autoren dieser Studie untersuchten die Langzeitwirkung von 2,45 GHz elektromagnetischer Strahlung auf die Eierstöcke, die Eileiter und die Gebärmutter von „Sprague-Dawley“ Ratten. Dabei wurden insgesamt 18 Ratten zufällig in drei Versuchsgruppen aufgeteilt. Die erste Versuchsgruppe wurde eine Stunde pro Tag über 30 Tage mit einem 2,45 GHz elektromagnetischen Feld (EMF) bestrahlt. Der errechnete SAR-Wert betrug hierbei 2,27 mW/kg für die Gebärmutter und 0,8 mW/kg für die Eierstöcke. Die zweite Versuchsgruppe wurde auf identische Art und Weise bestrahlt, bekamen allerdings täglich 250 mg/kg Körpergewicht Vitamin C oral verabreicht (EMF+Vit C). Die Kontrollgruppe besaß dieselben Tierhaltungsbedingungen wie die beiden Versuchsgruppen, erhielt jedoch keine Bestrahlung.

Die Wissenschaftler untersuchten zunächst die Auswirkungen des EMF auf die wichtigen Sexualhormone Anti-Müller-

Hormon (AMH) und Östrogen. Die AMH-Konzentration wird beim Menschen zur Fruchtbarkeitsdiagnostik verwendet. AMH besitzt einen direkten Zusammenhang mit der Funktion der Eierstöcke. Bemerkenswerter Weise wurden im Serum statistisch signifikant gesteigerte AMH-Konzentrationen bei der EMF-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden. Die EMF+Vit C-Gruppe wies im Vergleich zur EMF-Gruppe signifikant geringere AMH-Konzentrationen im Serum auf. Die Auswirkung des EMF auf den AMH-Level konnte also durch die Zugabe von Vitamin C abgeschwächt werden. Die Östrogenkonzentration der EMF-Gruppe unterschied sich nicht statistisch signifikant von der Kontrollgruppe. Anschließend widmeten sich die Wissenschaftler dem Eierstockgewebe. Dort wurde zuerst der „total oxidant status“ (TOS), „total anti oxidant status“ (TAS) sowie der oxidative Stressindex (OSI) ermittelt. Der OSI ist definiert als das Verhältnis von TOS zu TAS. Der TAS bestimmt die antioxidative Kapazität einer Probe an und wird als Äquivalent des Vitamin E-Derivats Trolox angegeben. Der TOS zeigt umgekehrt die oxidative Kapazität der Probe auf. Dieser wird als H₂O₂-Äquivalent angegeben. Sowohl TOS als auch OSI der EMF-Gruppe war gegenüber der Kontrollgruppe signifikant erhöht. Der TAS jedoch wies keine statistisch relevante Veränderung auf. Wiederum konnte die Wirkung des EMF durch die Zugabe von Vitamin C abgeschwächt werden. Sowohl TOS als auch OSI waren in der EMF+Vit C-Gruppe im Vergleich zur EMF-Gruppe signifikant verringert. Histopathologische und immunohistochemische Untersuchungen der Eierstöcke zeigten keine pathologischen Veränderungen des Gewebes. Hierbei wurden Hyperämie (übermäßiges Blutangebot, Hinweis auf Reizung des Gewebes), entzündliche Reaktionen, Degeneration des Gewebes und Nekrose analysiert. Alle drei Gruppen verfügten über eine normale histologische Gewebestruktur. Allerdings war die Bildung des pro-apoptischen Proteins Caspase-3 in der EMF-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe in Epithelzellen statistisch signifikant erhöht. Bei Caspase-3 handelt es sich um eine für Apoptose essentielle Protease. Diese Protease spaltet und aktiviert damit sogenannte „Todessubstrate“ und Endonukleasen. Endonukleasen fragmentieren DNA. Fragmentierte DNA stellt ein Kennzeichen für Apoptose dar. Es wurde auch die Bildung einer weiteren Caspase, Caspase-8 analysiert. Es ergaben sich jedoch keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsgruppen. Die drei beschriebenen Analysen (Redoxstatus, histopathologische bzw. immunohistochemische Untersuchung, Bildung der Caspasen) wurden ebenfalls in den Eileitern sowie der Gebärmutter durchgeführt. Die Redoxanalyse der Eileiter zeigt keine relevanten Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und EMF-Gruppe. Es wurde allerdings eine signifikante Verringerung des TOS und OSI bei der EMF+Vit C-Gruppe im Vergleich zur EMF-Gruppe gefunden. Sowohl die histopathologische bzw. immunohistochemische Überprüfung des Gewebes als auch die Kontrolle der Caspasebildung zeigten keine Unterschiede zwischen EMF, EMF+Vit C und Kontrollgruppe. Der Redoxstatus in der Gebärmutter zeigte ein mit den Eileitern vergleichbares Bild. TOS und OSI der EMF+Vit C-Gruppe war im Vergleich zur EMF-Gruppe signifikant verringert. Allerdings gab es keine relevanten Unterschiede zwischen EMF-Gruppe und Kontrollgruppe. Während die Gewebestruktur der Gebärmutter keine Veränderungen aufwies, zeigt sich eine Hyperämie in der EMF-Gruppe im Gegensatz zur EMF+Vit C und Kontrollgruppe. Auch die Bildung der Caspase-3 sowie Caspase-8 waren bei der EMF-Gruppe vorhanden, während sowohl bei der Kontrollgruppe als auch EMF+Vit C-Gruppe keine festzustellen war.

Zusammengefasst kann die Arbeitsgruppe also kein eindeutiges Bild bezüglich der Schäden durch 2,45-GHz-EMF zeichnen. Die Ergebnisse der drei Analysen (Redoxstatus, histopathologische/immunohistochemische Untersuchungen, Bildung der Caspasen) unterscheiden sich von Gewebe zu Gewebe. Bei der Gebärmutter z.B. weist lediglich die erhöhte Hyperämie auf eine Schädigung des Gewebes hin. Die Wissenschaftler berufen sich jedoch auf andere Studien, die die Beschädigung des Eierstocks-, Eileiters- und Gebärmuttergewebes nach Exposition mit 2,45 GHz-EMF demonstrieren. Die Autoren schlussfolgern, dass 2,45-GHz-EMF eine oxidative Degeneration der Eierstöcke, Eileiter und Gebärmutter hervorrufen kann. Des Weiteren könne Vitamin C möglicherweise die drei Organe vor 2,45-GHz-Strahlung schützen.

(RH)

Quelle:

Saygin M, Ozmen O, Erol O, Elliday HY, Ilhan I, Aslankoc R (2018): The impact of electromagnetic radiation (2.45 GHz, Wi-Fi) on the female reproductive system: The role of vitamin C. *Toxicology and Industrial Health*
<https://doi.org/10.1177/0748233718775540>

Hochfrequenzwirkung auf Geschlechtsorgane**1800-MHz-Strahlung beeinträchtigt Funktion der Hoden**

Wissenschaftler untersuchen die Auswirkung von Mobiltelefonen in drei verschiedenen Betriebsmodi auf die Hoden von Mäusen. Sie zeigen, dass Mobilfunkstrahlung oxidativen Stress hervorruft, der zu Apoptose von Hodenzellen führt und dadurch die Hodenfunktion negativ beeinflusst.

Mobiltelefone gehören weltweit zu den am meisten genutzten Drahtloskommunikationsgeräten. Die dafür benötigte elektromagnetische Strahlung könnte laut WHO gesundheitsgefährdend für Menschen sein. Es existieren zahlreiche Studien, welche die negativen Auswirkungen von elektromagnetischer Strahlung, verursacht von Mobiltelefonen, auf die männliche Fortpflanzung beschreiben. Wirkungen wie verringerte Spermienanzahl, beschädigte Spermien, verringerte Durchmesser der Hodenkanälchen sowie verringertes Hodengewicht und DNA-Schäden wurden bei Ratten beobachtet, die Mobilfunk-Strahlung ausgesetzt waren. Auch negative Wirkungen auf den Steroidstoffwechsel, eine wichtige Aufgabe der Hoden, werden aufgezeigt. Die menschliche Fruchtbarkeit wird ebenfalls durch Mobilfunk nachteilig beeinflusst. So existieren Studien, welche von einer männlichen Population berichten, die durch die Nutzung von Mobiltelefonen (GSM/2G) über einen Zeitraum von 1–2 Jahren verringerte Anteile von normalbeweglichen Spermien aufweisen. Wissenschaftliche Publikationen über die Auswirkungen von Mobilfunk auf Qualitätsparameter von Spermien (z.B. Beweglichkeit, lineare Geschwindigkeit, Linearitätsindex und Akrosinaktivität) sind jedoch kontrovers. Das Ziel der hier vorgestellten Studie war es, die molekularen Mechanismen, die bei der Auswirkung von Mobilfunk auf die männliche Fruchtbarkeit eine Rolle spielen, zu untersuchen.

Die Autoren der hier vorgestellten Studie untersuchten die Langzeit-Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung bei verschiedenen Betriebsmodi (Anrufen, Empfangen sowie Stand-by) auf die Hoden noch unreifer männlicher Mäuse. Dazu wurden drei Wochen alte männliche „Swiss Albino“ Mäuse über 120 Tage für drei Stunden pro Tag bestrahlt. Insgesamt

wurden 48 Mäuse in vier Gruppen unterteilt. Jeweils 12 Mäuse wurden in eine Kontrollgruppe sowie drei Versuchsgruppen zufällig verteilt. Als Strahlungsquelle diente ein Nokia 100 (2G, GSM, 1800 MHz), welches je nach Versuchsgruppe in den drei verschiedenen Betriebsmodi operierte bzw. bei der Kontrollgruppe ausgeschaltet war. Die Mäuse der Versuchsgruppen waren einer Mobilfunkstrahlung von 1800 MHz bei 1,15 W/m² und einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 0,05 W/kg ausgesetzt. 24 Stunden nach Beendigung der Bestrahlung wurden den Mäusen Blut und Hoden entnommen. Zunächst analysierte die Arbeitsgruppe die histologische Architektur der Hoden. Bei allen Versuchsgruppen wurde eine verkümmerte Erscheinung der Hodenkanälchen festgestellt. In den Hodenkanälchen werden im Zuge der Spermatogenese die Spermien gebildet und anschließend vom Hoden in die Samenleiter geleitet. Sowohl verringerte Durchmesser der Hodenkanälchen als auch eine verringerte Gesamtanzahl von Spermien und Keimzellen wurden entdeckt. Bei den Versuchsgruppen „Empfangen“ (E) sowie Stand-by (SB) wurde außerdem eine degenerierte Struktur des Epithelgewebes gefunden. Auch das Erscheinungsbild der Leydig-Zellen (Testosteronproduzenten) war degeneriert. Abgesehen davon beobachteten die Wissenschaftler Keimzellen, welche irreversible Chromatinkondensation aufwiesen. Chromatin besteht grundlegend aus speziellen Proteinen, sogenannten Histonen, um die sich die DNA wickelt. Die irreversible Chromatinkondensation, auch Karyopyknose genannt, ist ein Zeichen für programmierten Zelltod (Apoptose) bzw. pathologischen Zelltod (Nekrose). Neben der verringerten Spermien-Gesamtanzahl war auch die Zahl entwicklungs-fähiger Spermien signifikant geringer. Neben der Auswirkung der Strahlung auf die Spermatogenese wurden auch geringere Serumtestosteron-Konzentrationen im Blut nachgewiesen. Bemerkenswerter Weise waren die Strahlungseffekte bei den E- sowie SB-Versuchsgruppen deutlicher als bei der Versuchsgruppe „Anrufen“ (A) im Vergleich zur Kontrollgruppe. Nach diesen Befunden untersuchten die Wissenschaftler die Ursachen.

Da Mobilfunkstrahlung bekanntermaßen oxidativen bzw. nitrosativen Stress verursachen kann, war dies der erste Anhaltspunkt der Arbeitsgruppe, um molekularbiologische Hintergründe zu untersuchen. Das Vorkommen von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), Stickstoffmonoxid (NO) sowie Malondialdehyd (MDA), welches bei der Peroxidation von mehrfachungesättigten Fettsäuren entsteht, war signifikant erhöht. ROS, NO und MDA sind Marker für oxidativen Stress. Auch bei der Analyse der Stressmarker zeigte sich, dass die E- und SB-Versuchsgruppe stärker betroffen waren als die A-Versuchsgruppe. Des Weiteren beschreiben die Autoren in allen Versuchsgruppen eine signifikante Verringerung der Enzymaktivität von Enzymen, welche reaktive Sauerstoffspezies abbauen und dadurch antioxidativ wirken. Auch hier waren E- und SB-Gruppe stärker betroffen als die A-Gruppe. Nachdem nun mit dem oxidativen Stress eine mögliche Ursache für den erhobenen Befund identifiziert wurde, begannen die Wissenschaftler die grundlegenden, molekularbiologischen Mechanismen zu untersuchen. Proteine, welche die Apoptose (programmierten Zelltod) vermitteln, wurden dazu analysiert. Zunächst rückte das proapoptotische Protein p53 in den Fokus. Dies stellt ein Tumorerdrückungsprotein dar. In Abwesenheit von zellulärem Stress werden die p53-Level gleichbleibend niedrig gehalten. Unterliegt die Zelle einem hohen Maß an Stress, wird p53 aktiviert, welches wiederum eine große Anzahl an Proteinen bzw. Genen aktiviert, die den Zellzyklus einfrieren bzw. für Apoptose sorgen. Läuft eine Zelle also Gefahr durch den Einfluss von Stress zu entarten, zerstört diese sich durch die