

ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



Wirkung von HF- und NF-EMF

Vergleich von DNA-Schäden, die durch Mobilfunk und andere Arten von künstlichen elektromagnetischen Feldern verursacht werden

Die Anzahl an Studien, welche negative Auswirkungen auf lebende Organismen durch vom Menschen verursachte elektromagnetische Felder (EMF) demonstrieren, ist enorm angestiegen. Hunderte von kreuzgeprüften („Peer-reviewed“) Studien zeigen eine Vielzahl an Auswirkungen, wobei DNA-Schädigungen hervorzuheben sind. Diese stehen mit Krebs, neurodegenerativen Erkrankungen, Unfruchtbarkeit und vielen anderen negativen Wirkungen in Zusammenhang. Innerhalb dieser kreuzgeprüften Studien zeigen insbesondere jene die negativen Folgen von EMF, welche handelsübliche Mobiltelefone anstatt simulierter EMF als Strahlungsquelle nutzen. Der Autor der hier vorgestellten Studie analysierte eine Vielzahl von in der Literatur vorhandenen Publikationen. Dabei fand er heraus, dass von 71 Studien, die eine reale Exposition verwendet haben, 68 signifikante Wirkungen von EMF nachwies. 68 aus 71 entsprechen 95,8 %. Zu diesen Wirkungen zählen unter anderem Abnahme der Fortpflanzungsfähigkeit, DNA-Schäden und Zelltod, Gedächtnisstörungen und Beeinträchtigung der allgemeinen kognitiven Fähigkeiten und Herzfrequenzänderungen. Arbeiten, welche simulierte EMF als Strahlungsquelle nutzen, konnten lediglich zu 50 % negative Wirkungen von EMF nachweisen. Die Ziele der präsentierten Arbeit waren 1) Analyse anderer, thematisch verwandter Studien sowie 2) ein direkter Vergleich von DNA-Schädigungen durch sechs unterschiedliche vom Menschen verursachte EMF. Der experimentelle Teil wurde an *Drosophila melanogaster* (Fruchtfliege) durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

Die Arbeitsgruppe des Autors untersuchte sechs verschiedene vom Menschen verursachte EMF: 900 MHz GSM (2G), 1800 MHz GSM (2G), 50 Hz alternierende Magnetfelder mit einer

Impressum

ElektrosmogReport 3/2019, 25. Jahrgang
Online Veröffentlichung auf www.EMFData.org
Bestellung Printausgabe:
shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 51903

Redaktion ElektrosmogReport

Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), B.Sc.
Kontakt: emf@katalyse.de

Herausgeber und V.i.S.d.P

Diagnose-Funk e.V.
Postfach 15 04 48
D-70076 Stuttgart
kontakt@diagnose-funk.de

Spendenkonto:

Diagnose-Funk e.V.
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank
Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende die Aufarbeitung und Analyse der Forschungslage und die weitere Herausgabe des ElektrosmogReport

INHALTSVERZEICHNIS

WISSENSCHAFT SEITE 01 > Vergleich von DNA-Schäden, die durch Mobilfunk und andere Arten von künstlichen elektromagnetischen Feldern verursacht werden

03 > Die Langzeitbelastung mit 835 MHz HF-EMF verursacht bei Mäusen Hyperaktivität, Autophagie und Demyelinisierung in den Neuronen der Hirnrinde

04 > Überlagernde Wirkung von Millimeterwellen und 2-Desoxyglucose auf das Transkriptom menschlicher Keratinocyten

05 > Einfluss von 2,45 GHz Mikrowellenstrahlung auf die Biomarker für Entzündungswerte im Hoden junger Ratten: die Rolle der Gallussäure

06 > Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf den Stoffwechsel weiblicher und männlicher Geschlechtsorgane (Review)

07 > Strahlung und männliche Fruchtbarkeit (Review)

Flussdichte von 0,1 mT, 1,1 mT und 2,1 mT sowie ein gepulstes elektrisches Feld (PEF; 8 kHz; 44,4 Hz Pulswiederholrate, 400 kV/m). Dieses PEF ähnelt in etwa den atmosphärischen EMF, welche durch Blitzeinschlag bei Gewittern entstehen. Jeweils 10 männliche und weibliche Fruchtfliegen befanden sich in einer Versuchsgruppe. Die netto Bestrahlungsdauer und Feld- bzw. Strahlungsintensitäten waren dabei wie folgt: Belastung mit 900 oder 1800 MHz GSM für 6 Minuten alle 24 Stunden (insgesamt 36 min) mit einem Mobiltelefon im „Sprach“-Modus und in Kontakt mit den Glasgefäßen, in welchen sich die Tiere befanden. Die hochfrequente Strahlungsintensität betrug hierbei $0,378 \pm 0,059$ mW/cm². Die Strahlungsintensitäten der extrem niederfrequenten Elektromagnetischen Felder (ENF) betragen für E-Feld $19 \pm 2,5$ V/m und B-Feld $0,9 \pm 0,15$ mG für GSM 900 und ca. 30 % niedrigere entsprechende Werte für GSM 1800. Anm. der Redaktion: ENF sind bei der Telekommunikation in Form von Pulsen und Modulation vorhanden, obwohl die eigentliche Information mit Hochfrequenz übermittelt wird. Der höchste SAR-Wert des verwendeten Mobilteils wurde vom Hersteller mit 0,89 W/kg für den menschlichen Kopf angegeben. Die Bestrahlung mit den 50 Hz alternierenden Magnetfeldern erfolgte kontinuierlich über 5 Tage (120 Stunden). Das PEF wurde für 30 Minuten alle zwei Stunden über 5 Tage aktiviert (30 Stunden insgesamt). Als Kontrolle gab es für jede bestrahlte Versuchsgruppe eine scheinbestrahlte Gruppe. Nach der Bestrahlung wurden die DNA-Schädigungen, verursacht von den verschiedenen EMF, in den Eierstöcken der Tiere untersucht.

Ergebnisse:

Die von Mobiltelefonen ausgesendeten EMF waren signifikant gesundheitsschädlicher als die anderen EMF. GSM 900 oder GSM 1800 mit einer Gesamtexpositionsdauer von 36 Minuten verursachte DNA-Brüche in bis zu 50,16 % der Eikammern in den Eierstöcken der bestrahlten Weibchen. Die 50 Hz Magnetfelder verursachten diese DNA-Schädigungen bei lediglich 7,52 % mit einer Gesamtbestrahlungsdauer von 120 Stunden. Das PEF beschädigte bei einer Gesamtdauer von 30 Stunden 2,74 %. Das entspricht einem Anstieg der DNA-Schäden im Vergleich zu den scheinbestrahlten Gruppen von 669,6 % für GSM EMF, 114,8 % für 50 Hz MF und 47,7 % für PEF. Diese Zahlen legen dar, dass die EMF von realen Mobiltelefonen wesentlich bioaktiver sind als die anderer EMF. Sie sind insbesondere wesentlich bioaktiver als 50 Hz alternierende MF, welchen, bereits lange vor der Diskussion über drahtlose Kommunikation, unterstellt wurde, sie seien krebserregend. Obwohl ein direkter Vergleich unmöglich ist, waren Mobiltelefon-EMF signifikant bioaktiver als zuvor getestete Stressfaktoren wie Etoposid, Staurosporin, Dehydrierung oder Mangelernährung.

Schlussfolgerungen:

Die Publikation legt nahe, dass bei der Strahlung von realen Mobiltelefonen sowohl die hochfrequenten als auch die nie-

derfrequenten Felder eine Rolle für die Bioaktivität spielen. Die sich ständig ändernde Strahlungsintensität ist ein extrem wichtiger Faktor bei der Wirkung der polarisierten elektromagnetischen Felder auf biologische Systeme bzw. die Gesundheit. Alle drahtlosen Kommunikationsgeräte (Mobiltelefone, WLAN, schnurlose Telefone) benutzen zur Signalübertragung hochfrequente und zur Modulation niederfrequente Felder (bis 3000 Hz). Zudem treten beim Arbeiten des Gerätes ständig Veränderungen der Strahlungsintensität auf, weil diese von Änderungen des Standorts, der Anzahl anderer Teilnehmer am Netzwerk, Änderungen in der Leitfähigkeit der Atmosphäre usw. abhängen. Dadurch kann die durchschnittliche Intensität zu 20–30 % überschritten werden. Je neuer die Generationen der Mobiltelefone, umso mehr Informationen werden übertragen, es steigt die Variabilität und Komplexität der Signale mit jeder neuen Generation (3G, 4G und 5G).

Der Autor schlussfolgert, dass die hohe Variabilität und Komplexität des Signals es lebenden Organismen unmöglich macht, sich daran anzupassen. Experimentelle Daten und theoretische Berechnungen ergaben, dass die wichtigsten physikalischen Parameter im Wechselspiel zwischen elektromagnetischen Feldern und Bioaktivität sind 1) Polarisation, 2) die niederfrequenten Komponenten, 3) Feld-/Strahlungsintensität, 4) Belastungsdauer und 5) Feldvariabilität.

Die Bedeutung der in der vorliegenden Studie dargestellten Belastungsvariabilität verlangt, dass die Belastung mit elektromagnetischen Feldern nicht nur durch Frequenzen und durchschnittliche Intensitätswerte zu definieren sind, sondern auch maximale und minimale Intensität, Frequenzvariationen, gepulste oder kontinuierliche Wellen, Modulation und Polarisierung zu beachten sind. Aus diesem Grund fordert der Autor, dass in Experimenten reale, und nicht simulierte Felder genutzt werden sollten. Außerdem vertritt er die Meinung, dass die Belastung von Mensch und Tier durch Mobilfunkstrahlung drastisch reduziert werden muss durch kluge Nutzung und durch strengere Grenzwerte.

Anmerkung der Redaktion:

Die dargestellte Arbeit könnte einen Hinweis bieten, warum die Faktenlage in der Wissenschaft zum Thema Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit zurzeit so kontrovers ist. Die Festlegung von einheitlichen Anforderungen an die Quellen von elektromagnetischen Feldern in wissenschaftlichen Studien ist von großer Bedeutung. Wenn Variabilität sowie Modulation eine derart wichtige Rolle spielen, wie diese Publikation nahelegt, müssen diese Faktoren in allen wissenschaftlichen Arbeiten berücksichtigt werden. (RH)

Comparing DNA damage induced by mobile telephony and other types of man-made electromagnetic fields. Von: Panagopoulos, DJ Erschienen in: Mutation Research - Reviews in Mutation Research, 781(October 2018), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.03.003>



HF-EMF Wirkung auf das Gehirn

Die Langzeitbelastung mit 835 MHz HF-EMF verursacht bei Mäusen Hyperaktivität, Autophagie und Demyelinisierung in den Neuronen der Hirnrinde

Die Belastung mit Mobilfunkstrahlung nimmt weltweit zu. Die Auswirkungen auf das zentrale Nervensystem (ZNS) sind hierbei von besonderem Interesse, da die Nutzung von Mobiltelefonen oftmals einen engen Kontakt am Kopf und damit eine unmittelbare Belastung beinhaltet. Die hier vorgestellte Studie beschäftigt sich mit der Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf die Neuronen der Hirnrinde. Die Hirnrinde ist eine hochentwickelte Region des menschlichen Gehirns, die den größten Teil der eigentlichen Informationen verarbeitet. Dies beinhaltet sensorische Funktionen (z.B. Hören, Sehen Riechen, Tasten) sowie kognitive Funktionen (z.B. Denken, gedächtnisbezogene Problemlösung, Sprachverständnis). Anomalien in der Region der Hirnrinde konnten mit verschiedenen neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und Lafora-Krankheit in Verbindung gebracht werden. Im Fokus der Arbeit stand der Mechanismus der Autophagie innerhalb der Neuronen der Hirnrinde. Autophagie ist ein zellulärer Abbauprozess, der für den Abbau beschädigter Zellorganellen oder ungewöhnlicher Proteinaggregate verantwortlich ist. Unterdrückung von Autophagie kann eine Rolle bei dem Fortschritt von Krebs, neurodegenerativen Krankheiten und Infektionen spielen und ist ein Merkmal des Alterns. Die Studie wurden an Mäusen durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt kamen 12 männliche Mäuse im Alter von 6 Wochen zum Einsatz. Diese wurden in zwei Gruppen unterteilt. Die bestrahlte Gruppe erhielt 835 MHz Strahlung mit einem Ganzkörper-SAR-Wert von 4,0 W/kg, 5 Stunden täglich über 12 Wochen. Die andere Gruppe wurde lediglich scheinbestrahlt. Nach der Bestrahlungsperiode wurde zunächst das Verhalten der Mäuse mittels „Rotarod-“ (rotierender Zylinder) und offenem Feld-Test untersucht. Bei dem „Rotarod-Test“ werden motorische Störungen, insbesondere der Koordination und Balance analysiert. Der offene Feldtest hingegen wird genutzt, um Angst als Reaktion auf eine neue Umgebung sowie bewegungsmotorische Motivation zu bewerten. Anschließend wurde ihre Hirnrinde untersucht. Es wurde die Genexpression (Proteinbiosynthese anhand der genetischen Information; Transkription und Translation) verschiedener, für Autophagie wichtiger Gene mittels quantitativer PCR analysiert. Dies wurde mittels Western-Blot überprüft. Außerdem erfolgte eine Bewertung der Gewebeschnitte mittels Elektronenmikroskopie.

Ergebnisse:

Der „Rotarod-Test“ konnte keine Verhaltensauffälligkeit der bestrahlten Tiere im Vergleich zu den scheinbestrahlten feststellen. Der offene Feldtest hingegen zeigte, dass sowohl die gesamte Bewegungsdistanz als auch die Gesamtdauer in Bewegung bei den bestrahlten Tieren signifikant erhöht war. Dies weist auf eine Hyperaktivität der bestrahlten Mäuse hin. Die Analyse der Genexpression ergab, dass eine Reihe Autophagie-verknüpfter Gene, als Reaktion auf HF-EMF, signifikant hochreguliert waren. Die Transkription war 1,5-fach bis 2,5-fach erhöht. Die Überprüfung mittels Western-Blot auf Proteinebene bestätigte die Ergebnisse der quantitativen PCR. Die zwei untersuchten Proteine LC3B-II und Beclin-1 waren nach Bestrahlung signifikant erhöht. Dies stellt ein Anzeichen für eine verstärkte Autophagie als Reaktion auf die Bestrahlung dar. Die Untersuchung des Gewebes mittels Elektronenmikroskopie zeigte klare Anzeichen (Autophagosomen, Autolysosomen) für eine erhöhte Autophagie in den Neuronen der Hirnrinde nach Bestrahlung. Obwohl keine Hinweise für Apoptose (programmierter Zelltod) gefunden werden konnten, verursacht die Bestrahlung Schäden an den Neuronen der Hirnrinde. Die Arbeitsgruppe konnte Veränderungen an den Myelinscheiden der Axone feststellen. Die defekten Myelinscheiden besaßen eine ausgefranste Lamellenstruktur sowie ungewöhnliche Myelinvorsprünge.

Schlussfolgerungen:

HF-EMF (835 MHz, 4,0 W/kg SAR, 5 Stunden pro Tag für 12 Wochen) machte die Versuchstiere hyperaktiv, induzierte Autophagie in Neuronen der Hirnrinde und verursachte Schäden an der Myelinscheide der Neuronen. Bemerkenswerterweise werden sowohl Alzheimer als auch die Lafora-Krankheit hauptsächlich durch beeinträchtigte Autophagie verursacht. Die Daten der Studie weisen darauf hin, dass Autophagie als Schutzmechanismus vor dem durch Bestrahlung verursachten zellulären Stress fungiert. Dies verhindert ein mögliches Absterben der Zellen auf Grund der Strahlung. Wie sich eine stärkere Belastung mit hochfrequenten Feldern auf das Absterben der Zellen auswirken würde ist unklar. Laut den Autoren wären weitere Studien notwendig um zu überprüfen, welchen Einfluss beispielsweise eine dreimonatige Bestrahlung oder andere Expositionsbedingungen auf das Absterben von Neuronen hätte. Die Daten zeigen weiterhin, dass die Myelinscheide durch HF-EMF beschädigt wurde. Diese fetthaltige Substanz, welche das Axon umgibt, wirkt als elektrischer Isolator und ist wichtig für die Übertragung des elektrischen Signals im Nervensystem. Beschädigungen der Myelinscheide ist mit multipler Sklerose assoziiert. (RH)

Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice (2016). Von: Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR Erschienen in: Scientific Reports, 7(December 2016), 1-12. <https://doi.org/10.1038/srep41129>



Wirkungen von 5G-Frequenzen

Überlagernde Wirkung von Millimeterwellen und 2-Desoxyglucose auf das Transkriptom menschlicher Keratinocyten

Als Millimeterwellen bezeichnet man Mikrowellen, deren Frequenzband zwischen 30 und 300 GHz liegt. Aller Voraussicht nach werden 5G-Netzwerke in diesem Frequenzbereich operieren. Es wird erwartet, dass 5G-Netzwerke ab 2020 flächendeckend zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund müssen Wirkungen von Millimeterwellen auf Mensch und Umwelt zeitnah bewertet werden. Einige Publikationen beschreiben schmerzlinde Wirkungen von Millimeterwellen sowie Wirkungen auf entzündliche Prozesse des Körpers, was auf eine Wechselwirkung von Millimeterwellen und dem menschlichen Körper hinweist. Die Mechanismen, welche hinter den therapeutischen Wirkungen von Millimeterwellen stehen, sind jedoch nicht bekannt. Die Autoren der hier vorgestellten Publikation untersuchten die Wirkung von 60 GHz-Millimeterwellen auf Hautzellen. In einem zweiten Schritt ahmten sie den sogenannten Warburg-Effekt nach. Dabei handelt es sich um eine Veränderung des Glukose-Stoffwechsels, bei dem ATP anaerob durch Milchsäure gewonnen wird, anstatt aerob über den Citratzyklus. Diese Stoffwechselveränderung wird bei verschiedenen Krebszellen beobachtet. Schlussendlich wurde das sogenannte Transkriptom der Hautzellen untersucht. Das Transkriptom ist definiert als die Gesamtheit aller RNA-Moleküle innerhalb einer Zelle, zu einem bestimmten Zeitpunkt. Jedes einzelne RNA-Molekül steht hierbei für ein abgelesenes Gen. Eine Transkriptomanalyse gibt also Aufschluss über ein verändertes Ableseverhalten des Genoms und liefert damit Hinweise für eine modifizierte Proteinbiosynthese.

Studiendesign und Durchführung:

Da Millimeterwellen eine vergleichsweise geringe Eindringtiefe in Gewebe aufweisen, untersuchten die Wissenschaftler Hautzellen. Es wurden *in vitro* Experimente durchgeführt, das heißt Zellen wurden in Zellkulturschalen außerhalb eines Körpers kultiviert. Bei den Zellen handelte es sich um primäre Keratinocyten (dominanter Zelltyp der Haut) und HaCaT-Zellen. Bei HaCaT handelt es sich um eine unsterbliche Keratinocyten-Zelllinie, welche immer noch Charakteristika der primären Keratinocyten aufweist, jedoch einfacher in der Kulturhandhabung ist. Die Zellen wurden mit 60 GHz Millimeterwellen bei 20 mW/cm² über 3 Stunden bestrahlt. In einem zweiten Schritt wurden sie zusätzlich mit 20 mM 2-Desoxyglucose behan-

delt, um den Warburg-Effekt nachzuahmen. 2-Desoxyglucose hemmt die aerobe ATP-Produktion der Mitochondrien (aerobe Glykolyse). Letztendlich wurden vier verschiedene Versuchsbedingungen miteinander verglichen: scheinbehandelt; bestrahlt; scheinbehandelt+2-Desoxyglucose; bestrahlt+2-Desoxyglucose. Das Ableseverhalten der Gene wurde durch Microarrays analysiert. Kandidaten, die einen Hinweis auf verändertes Ableseverhalten lieferten, wurden mittels RT-PCR überprüft.

Ergebnisse:

Lediglich die Behandlung mit 2-Desoxyglucose, nicht aber mit Millimeterwellen hat eine Wirkung auf die intrazelluläre ATP-Konzentration. Dies weist darauf hin, dass Millimeterwellen nicht den durch 2-Desoxyglucose initiierten Stoffwechselstress verstärken. Nach dieser Feststellung wurde die Wirkung von Millimeterwellen auf das Transkriptom untersucht. Es konnten keine Unterschiede zwischen Bestrahlung und Scheinbestrahlung festgestellt werden. Die Zugabe von 2-Desoxyglucose (Vergleich scheinbestrahlt vs. scheinbestrahlt+2-Desoxyglucose) resultierte in einer veränderten Expression von 665 bzw. 770 Genen (in Abhängigkeit eines statistischen Schwellenwertes). Anschließend wurde die Doppelbelastung mit Millimeterwellen und 2-Desoxyglucose untersucht (Vergleich von bestrahlt+2-Desoxyglucose und scheinbestrahlt+2-Desoxyglucose). Es wurden mittels RT-PCR sechs Gene identifiziert, welche eine Wirkung von Millimeterwellen bei Stoffwechselstress bestätigen.

Schlussfolgerungen:

Die Beobachtung, dass Millimeterwellen nicht den zellulären ATP-Gehalt beeinflussen, werten die Autoren als Hinweis dafür, dass nicht die Funktion der Mitochondrien beeinflusst wird. Fünf der sechs bei der Doppelbelastung identifizierten Gene sind mit Signalwegen von Zelloberflächenrezeptoren assoziiert. Dies könnte einen Hinweis darstellen, dass Millimeterwellen bei einer krebszellähnlichen Stoffwechselveränderung (Warburg-Effekt) die Zelloberfläche verändern. Außerdem zeigt dies eine Involvierung in der Zell-Zell-Kommunikation. Zwei der Gene haben Einfluss auf sehr wichtige Signalkaskaden, dem RAS/RAF- und dem JAK/STAT-Signalweg. Beide Signalwege sind mit Krebsentwicklung assoziiert. Die Wissenschaftler fordern zukünftig eine weitere Untersuchung, insbesondere der chronischen Belastung mit MMW, um die möglichen Risiken besser abschätzen zu können. (RH)

Additive Effects of Millimeter Waves and 2- Deoxyglucose Co-Exposure on the Human Keratinocyte Transcriptome (2016) Von: Aite M, Zhadobov M, Soubere Mahamoud Y, Martin C, Le Dréan Y, Habauzit D, Sauleau R. Erschienen in: Plos One, 11(8), e0160810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160810>



Mikrowellenwirkung auf männliche Fruchtbarkeit Einfluss von 2,45 GHz Mikrowellenstrahlung auf die Biomarker für Entzündungswerte im Hoden junger Ratten: die Rolle der Gallussäure

In den letzten Jahren haben eine Vielzahl elektronischer Geräte unseren modernen Lebensstil erleichtert. Die elektromagnetische Strahlung (EMS), welche durch verschiedene Quellen wie drahtlose Netzwerke, Mobiltelefone oder Mikrowellen verursacht wird, beeinflusst biologische Systeme. EMS dringt in alle Gewebe des menschlichen Körpers ein. Hoden sind gegenüber Belastungen, wie z.B. Hitze, Entzündungen oder Strahlung, welche zu einem Absterben der Keimzellen führen können, sehr empfindlich. Das Ziel der hier vorgestellten Studie war, die Wirkung von 2,45 GHz-Feldern (Frequenzbereich, in dem WLAN-Router operieren) auf pathologische und strukturelle Veränderungen im Hoden von Ratten zu untersuchen. Zusätzlich wurde analysiert, ob Gallussäure die Wirkung von 2,45 GHz Strahlung reduzieren kann. Gallussäure (GS) ist ein natürlich vorkommendes Pflanzenphenol, welches besonders häufig in verarbeiteten Getränken wie Rotwein, grünem Tee, Kaffee und Granatapfelsaft vorkommt. GS verfügt über ein breites Spektrum an biologischen Aktivitäten, einschließlich antioxidativer und entzündungshemmender Eigenschaften.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an jungen männlichen Sprague-Dawley Ratten durchgeführt. Es wurden insgesamt 48 Tiere in vier Gruppen eingeteilt (12 Tiere pro Gruppe): scheinbestrahlt; EMS; EMS+GS; GS. Die Versuchstiere wurden über 30 Tage drei Stunden pro Tag mit 2,45 GHz hochfrequenten Feldern bestrahlt. Der Ganzkörper-SAR-Wert betrug 3,21 W/kg. Nach der 30-tägigen Bestrahlungsperiode wurden den Tieren Gewebeproben der Hoden zur Analyse entnommen. Neben der Histologie wurden der Redoxstatus des Gewebes (MDA, TAS, TOS, OSI) und verschiedene Marker für entzündliche Prozesse (PGE₂, CGPR, IL-6) untersucht. Malondialdehyd (MDA) entsteht bei Oxidation mehrfach ungesättigter Fettsäuren und dient als Marker für oxidativen Stress. Der totale oxidative Status (TOS) gibt die oxidative Kapazität einer Probe an. Er wird in der Einheit H₂O₂-Äquivalent pro Liter angegeben. Umgekehrt dazu gibt der totale antioxidative Status (TAS) die antioxidative Kapazität

einer Probe an. Hier beträgt die Einheit Trolox-Äquivalent pro Liter. Der oxidative Stressindex (OSI) stellt den Quotienten von TOS/TAS dar.

Ergebnisse:

Das Gewicht der Versuchstiere wurde durch die Strahlenbelastung nicht verändert. Zunächst wurden die Parameter für oxidativen Stress untersucht. Sowohl MDA- als auch TOS-level waren in der EMS-Gruppe im Vergleich zur Kontrolle statistisch signifikant erhöht. Die Zugabe von GS verminderte die TOS-steigernde Wirkung von EMS. Ein äquivalentes Bild zeigt die Analyse des TAS: die EMS-Gruppe besaß einen niedrigeren TAS-Wert als die scheinbestrahlte Gruppe. Die Behandlung mit GS in der EMS+GS-Gruppe konnte dieses Absinken

Elektromagnetische Strahlung kann Degeneration von Hodenzellen und Spermienbildung verursachen. Oxidative Schäden und entzündliche Prozesse spielen hierbei eine Schlüsselrolle.

zumindest teilweise kompensieren und den TAS-Wert signifikant anheben. Der OSI-Wert war im Vergleich zur scheinbestrahlten Gruppe bei der EMS-Gruppe erhöht und bei der EMS+GA-Gruppe vermindert. Die Histologie der Hoden war sowohl in der scheinbestrahlten als auch in der GA-Gruppe normal. In der EMS-Gruppe gab es leichte bis milde histopathologische Erscheinungen wie z.B. Gefäßstauungen,

Ödeme und Absterben von Spermien. Drei Individuen der EMS-Gruppe wiesen eine signifikante Reduktion der Spermienbildung in den Hodenkanälchen auf. Auch die Spermaticidichte war in der EMS-Gruppe im Vergleich zu allen anderen Gruppen vermindert. Die Zugabe von GS in der EMS+GS-Gruppe konnte die histopathologischen Erscheinungen durch die Bestrahlung signifikant verbessern.

Die Analyse der Entzündungsmarker ergab bei der EMS-Gruppe eine statistisch signifikant erhöhte Konzentration von CGRP und PGE₂ in Teilen des Hodengewebes. Bei IL-6 hingegen existierten keine Unterschiede zwischen den vier Gruppen.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass elektromagnetische Strahlung Degeneration von Hodenzellen und Spermienbildung verursachen kann. Oxidative Schäden und entzündliche Prozesse spielen hierbei eine Schlüsselrolle. Dieser Mechanismus könnte ein Grund für Unfruchtbarkeit sein. Gallussäure könnte eine schützende Wirkung auf die Hoden gegenüber 2,45 GHz-Strahlung besitzen. (RH)

Impact of 2.45 GHz Microwave Radiation on the Testicular Inflammatory Pathway Biomarkers in Young Rats: The Role of Gallic Acid. (2016) Von: Saygin M, Ascı H, Ozmen O, Cankara FN, Dincoglu D, İlhan I. Erschienen in: Environ. Toxicol., 31: 1771-1784. doi:10.1002/tox.22179



Wirkungen auf Geschlechtsorgane

Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf den Stoffwechsel weiblicher und männlicher Geschlechtsorgane (Review)

Im Zuge des technologischen Fortschritts ist der Mensch immer häufiger einem breiten Spektrum elektromagnetischer Felder (EMF) ausgesetzt. Das Ziel der hier vorgestellten Übersichtsarbeit ist es, die Auswirkungen der EMF-induzierten Stoffwechselveränderungen auf die weiblichen und männlichen Fortpflanzungsorgane im Kontext des aktuellen Wissenschaftsstandes zu beleuchten. Untersuchungen an Mensch und Tier haben eine Reihe von gesundheitsschädlichen Wirkungen identifiziert, welche durch die Belastung mit EMF hervorgerufen werden können und eine zusätzliche Bewertung erfordern. *In vivo* (am lebenden Organismus, z.B. Nagetiere) und *in vitro* („im Reagenzglas“, z.B. Zellkulturen außerhalb eines lebenden Organismus) Studien zeigen, dass die Belastung mit EMF das zelluläre Gleichgewicht verändern, Kalziumkanäle aktivieren sowie hormonelle Funktionen, reproduktive Funktionen und das fetale Wachstum bei Tieren beeinflussen kann. Die Auswirkungen von EMF können in thermisch und nicht-thermisch unterteilt werden. Die thermische Wirkung gilt als relativ gut erforscht. Hierbei werden Moleküle innerhalb des Körpers durch das EMF in Schwingung gebracht, reiben aneinander und erzeugen dadurch Wärme. Die nicht-thermische EMF-Wirkung ist weniger gut erforscht und der genaue Mechanismus ist unbekannt. Sie kann die Bildung reaktiver Sauerstoffspezies beinhalten, welche oxidativen Stress verursachen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren der Übersichtsarbeit haben die Ergebnisse von über hundert Studien analysiert, um den momentanen Kenntnisstand auf diesem Gebiet zusammenzufassen.

Ergebnisse:

Auf zellulärer Ebene können durch EMF-hervorgerufene Veränderungen dazu führen, dass freie Radikale, Kalzium-vermittelte Wachstumsstörung, Proteinfehlfaltung und DNA-Schädigungen entstehen. Ein Mechanismus, wie freie Radikale durch den Einfluss von EMF entstehen könnten, ist die Fenton-Reaktion. Hierbei werden Hydroxylradikale in Anwesenheit von Eisen und EMF generiert. Die reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) führen unter anderem zu oxidativem Stress innerhalb der Zellen. Außerdem zeigen eine Reihe von Studien schädliche Auswirkungen von EMF in beiden Geschlechtern auf die Sexualhormone, Funktionen der primären Geschlechtsorgane, fetales Wachstum und Schwangerschaft. Bei dem Einfluss der EMF auf die Hoden spielt oxidativer Stress eine besonders wichti-

ge Rolle. Während einige Studien darauf hinweisen, dass EMFs negative Wirkungen auf das männliche Fortpflanzungssystem haben, berichten andere, dass teilweise oder keine Auswirkungen zu finden sind. Die Autoren der Übersichtsarbeit führen diese inkonsistenten Ergebnisse auf den Einsatz unterschiedlicher Frequenzen, Leistungsdichten sowie Expositionszeiten zurück. Außerdem seien die induzierten Magnetfelder nicht standardisiert. Es finden sich jedoch immer mehr Hinweise, dass Mobilfunkstrahlung strukturelle und funktionale Schädigungen der Hoden, Veränderungen in Samenparametern, verminderte Spermienkonzentrationen sowie männliche Fruchtbarkeit verursachen können. Spermien sind auf Grund des mangelnden antioxidativen Schutzes besonders anfällig gegenüber ROS. Dadurch kann es durch EMF hervorgerufene Oxidationen der Spermienmembran geben. Auch die Spermienbeweglichkeit, ein wichtiger Parameter bei der männlichen Fortpflanzungsfähigkeit, wird durch reaktive Sauerstoffspezies negativ beeinflusst. Eine Studie mit 304 männlichen Teilnehmern zeigte, dass 65,7 % der Teilnehmer ohne Mobiltelefon eine Rate von über 50 % an beweglichen Spermien aufwiesen. Bei Teilnehmern, die zwei Jahre Mobiltelefone nutzen, besaßen nur noch 17 % eine bewegliche Spermienrate von über 50 %. Eine weitere Wirkung von EMF auf die männliche Fruchtbarkeit ist das Hervorrufen von Apoptose (programmiertem Zelltod). Auch hier sind die Ergebnisse verschiedener Studien kontrovers. Es existieren jedoch Hinweise, dass durch das Einwirken von elektromagnetischen Feldern die Apoptose eingeleitet wird.

Dies resultiert in einer Studie in vermindertem Durchmesser der Hodenkanälchen und einer verminderten Schichtdicke der Epithelzellen. In den Hodenkanälchen findet die Spermienbildung statt. Außerdem nehmen EMF Einfluss auf die hormonelle Regulierung der Spermienbildung. Mehrere Studien berichten von verringerten Konzentrationen von Hormonen (u.a. Testosteron), welche für die Regulierung der Spermienbildung verantwortlich sind, auf Grund von EMF-Belastung. Es existieren Hinweise, dass die Leydig-Zellen (Ort der Testosteronproduktion) durch ROS negativ beeinflusst werden. Eine Studie mit 2110 männlichen Patienten einer Fruchtbarkeitsklinik untersuchte die Serumkonzentrationen verschiedener Sexualhormone. Die Autoren dieser Studie zogen den Schluss, dass Mobiltelefonie die Spermienqualität und männliche Fruchtbarkeit negativ beeinflusst.

Auch der Einfluss von EMF auf die weiblichen Geschlechtsorgane war Gegenstand der Übersichtsarbeit. Sowohl niederfrequente als auch hochfrequente EMF können zu Schädigungen der weiblichen Geschlechtsorgane beitragen. Daten aus Studien an Mensch und Tier haben gezeigt, dass EMF negative Auswirkungen auf Granulosazellen (Hilfszellen der Eizelle, wichtig für deren Reifung), Anzahl der Eibläschen (Einheit aus Eizelle und Hilfszellen), Gebärmutter-schleimhaut, Eizellen und Embryoqualität haben können. Mehrere Studien beschrei-

ben eine Beeinflussung der Differenzierung der Eizelle sowie Eibläschenreifung, bedingt durch niederfrequente Felder. Dies kann dazu führen, dass die Fruchtbarkeit durch Verringerung der Eierstockspeicher eingeschränkt wird. Auch hochfrequente Felder (z.B. 900 MHz, 2450 MHz) können negative Wirkungen auf die weibliche Fruchtbarkeit haben. So führen auch hier hochfrequente Felder zur Bildung reaktiver Sauerstoffspezies, welche oxidativen Stress verursachen, Zellmembranen oxidieren und Apoptose auslösen können. Dies kann unter anderem Granulosazellen schädigen. Die Studienlage ist allerdings auch bezogen auf die weiblichen Geschlechtsorgane nicht eindeutig. So existiert eine Untersuchung, die keine negative Wirkung von 2,45 GHz-Strahlung während der Schwangerschaft, auf die Fortpflanzungsorgane und die Fruchtbarkeit männlicher oder weiblicher Ratten feststellen kann. Experimente an Fruchtfliegen demonstrieren jedoch eine signifikante Reduktion der Fruchtbarkeit nach Bestrahlung mit hochfrequenter Strahlung. Es sind Ähnlichkeiten bei EMF-verursachten Fruchtbarkeitsstörungen zwischen Insekten und Säugetieren in Bezug auf die Induktion von Apoptose feststellbar. Vergleichbar mit dem männlichen Hormonhaushalt scheinen EMF auch Auswirkungen auf den weiblichen Hormonhaushalt zu besitzen. Eine Studie stellt verringerte Konzentrationen von Prolaktin, Östrogen und Progesteron in weiblichen Ratten und ihren Nachkommen fest, welche während der Schwangerschaft mit hochfrequenten mit hochfrequenten Feldern bestrahlt wurden. Eine andere Untersuchung dokumentiert, dass hochfrequente Strahlung mittlerer und hoher Intensität die Befruchtungsraten und Blastulabildung (Blastula = frühes Embryonalstadium) von Mäusen reduzieren und damit die Wahrscheinlichkeit verringern, dass der Embryo sich einnisten kann.

Schlussfolgerungen:

Reproduktive Zellen scheinen gegenüber ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung empfindlicher zu sein als andere Zellen, da sie während der Zellteilung schnelle Wachstumsraten aufweisen. Je schneller Zellen wachsen, desto größer ist die Chance, dass Fehler bei der Synthese verschiedener Biomoleküle eingebaut werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von Mobiltelefonen ausgesendete Strahlung eine Reihe von gut dokumentierten, negativen Auswirkungen auf weibliche und männliche Fortpflanzungsorgane haben und zu reduzierter Fruchtbarkeit/Unfruchtbarkeit führen können. Die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies, welche oxidativen Stress auslösen und unter anderem Zellmembranen oxidieren, scheint hierbei eine besondere Rolle einzunehmen. Obwohl eine Vielzahl von Studien über strukturelle und funktionelle Defizite von Hoden und Eierstöcken nach der Belastung mit EMF berichten, sind die grundlegenden Mechanismen noch nicht vollständig aufgeklärt. Die Autoren fordern für zukünftige Studien eine Standardisierung der Bestrahlung, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen. (RH)

Effects of mobile phone exposure on metabolomics in the male and female reproductive systems (2018). Von: Altun G, Deniz ÖG, Yurt KK, Davis D, Kaplan S. Erschienen in: *Environmental Research*, 167 (February), 700-707. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.031>



Mikrowellenwirkung auf die männliche Fruchtbarkeit Strahlung und männliche Fruchtbarkeit (Review)

In den vergangenen Jahren wurde ein zunehmender Prozentsatz männlicher Unfruchtbarkeit innerhalb der Bevölkerung festgestellt. Zu dieser tragen wahrscheinliche verschiedene Faktoren wie intensive Hitze, Belastung mit Pestiziden, Strahlung, Radioaktivität und andere gefährliche Substanzen bei. Wir sind umgeben von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, welche beide eine ursächliche Wirkung auf die Spermatogenese haben. Als ionisierende Strahlung werden Teilchen oder elektromagnetische Strahlung bezeichnet, die in der Lage sind, Elektronen aus Molekülen zu entfernen und dadurch positiv geladene Molekülreste zurücklassen. Beispiele hierfür sind Röntgenstrahlung, γ -Strahlung und α -Partikel. Diese sind wesentlich gefährlicher als nichtionisierende Strahlung, da sie genug Energie mit sich führen, um das Erbgut direkt zu schädigen und so z. B. Krebs verursachen. Die Autoren der hier vorgestellten Übersichtsarbeit richten ihr Augenmerk jedoch auf nichtionisierende Strahlung und deren Auswirkung auf die männliche Fruchtbarkeit. Die Strahlung wird in zwei Formen unterteilt: 1) Niederfrequente (0,1 Hz–1 KHz) und hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF, 10 MHz–300 GHz). Letztere werden z. B. durch Mobiltelefone, Laptops und drahtlose Netzwerke sowie Mikrowellenöfen erzeugt. Da HF-EMF inzwischen überall in der Umwelt verbreitet sind, wurden sie in die Liste der anderen Umweltschadstoffe (Luft-, Wasser, Boden- und Lärmbelastung) aufgenommen und unter den Begriffen „Elektroschadstoff“ oder „Elektrosmog“ aufgeführt.

Neben dem Gehirn stellt der Hoden das strahlungsempfindlichste Organ dar. Viele Tierversuche zur Nutzung von Mobiltelefonen zeigen eine Verringerung der Spermienzahl und -beweglichkeit, was auf eine Beeinträchtigung der männlichen Fruchtbarkeit hinweist. Vergleichbare Ergebnisse fand eine Studie auch beim Menschen. Die kontinuierliche Nutzung von Mobiltelefonen geht mit geringer Spermienkonzentration, -beweglichkeit, -morphologie und -lebensfähigkeit einher. Zu dem jetzigen Zeitpunkt ist jedoch kein möglicher Mechanismus bekannt, wie genau HF-EMF auf die männlichen Geschlechtsorgane einwirken, und dadurch die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Einige der Auswirkungen werden durch die Autoren ausführlich diskutiert: 1) Biophysikalische Parameter von Hochfrequenz, 2) Wirkung auf Spermienparameter, 3) Rolle

von Kinasen auf den zellulären Stoffwechsel, 4) genomschädigende Wirkung, 5) Induktion von oxidativem Stress, 6) Wirkung auf das endokrine System der männlichen Geschlechtsorgane und 7) Schutzmaßnahmen gegenüber dieser Strahlung und Empfehlungen für die Zukunft.

Studiendesign und Durchführung:

Bei dieser Übersichtsarbeit wurden unabhängige Studien zu dem Thema Wirkung von hochfrequenten Feldern auf die männliche Fruchtbarkeit analysiert.

Ergebnisse:

Die biophysiologicalen Parameter beschreiben physikalische und biologische Faktoren, die die zelluläre Empfindlichkeit gegenüber Einwirkung der Hochfrequenzfelder durch Messung der Absorptionsrate der Strahlung bestimmen. Um eine biologische Antwort zu erzielen, muss das elektromagnetische Feld zunächst die Oberfläche des biologischen Systems durchdringen und dadurch interne Felder hervorrufen. Die Eindringtiefe ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, darunter die Parameter des EMF (z.B. Intensität, Feldstärke), Distanz der Strahlungsquelle vom biologischen System sowie Form und Geometrie des biologischen Systems. Einige Studien weisen darauf hin, dass hochfrequente Felder stark genug sind, um den menschlichen Schädel zu durchdringen, so dass ca. 40 % der Strahlung tiefer in das Gehirn vordringen können. Es wird von einer Eindringtiefe von 4–5 cm ausgegangen. Eine vergleichbare Eindringtiefe wird beim Hoden vermutet. Die Frage ist, auf welche Weise die Strahlung zelluläre Bestandteile schädigen und dadurch zu erhöhter Unfruchtbarkeit beitragen kann. DNA-Schäden sind eines der größten Probleme in Bezug auf Unfruchtbarkeit oder Hodenkrebs. Da es sich bei HF-EMF um nicht-ionisierende Strahlung handelt, besitzen die Photonen nicht genug Energie, um chemische Bindungen zu brechen oder biologische Moleküle zu ionisieren. Es wird also davon ausgegangen, dass elektromagnetische Strahlung nicht direkt DNA-Schäden hervorrufen kann. Es wurden also indirekte Mechanismen wie die Freie-Radikal-Hypothese gebildet, um die DNA-Schädigungen zu erklären. Zum Thema freie Radikale und reaktive Sauerstoffspezies später mehr.

Eine Vielzahl von Spermienparametern, wie z.B. Spermienqualität, Spermienanzahl, Beweglichkeit und Morphologie werden durch Alterung sowie Lebensstilfaktoren (z.B. Alkohol- und Tabakkonsum) beeinträchtigt. Zudem trägt häufige Nutzung

von Mobiltelefonen oder anderen EMF-Geräten zur Verschlechterung verschiedener Spermienparameter bei. So wurde in verschiedenen Studien Verminderung der Anzahl beweglicher Spermien, Abnahme der generellen Spermienbeweglichkeit, Überlebensfähigkeit, Zunahme an reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und abnormale Spermienmorphologie mit der Nutzung von Mobiltelefonen in Verbindung gebracht. Ein Tierversuch zeigte signifikant verringerte Spermienanzahl und einen erhöhten Anteil apoptotischer Zellen (Apoptose = programmierter Zelltod) nach der Einwirkung von Mobilfunkstrahlung (Mobiltelefon als Strahlungsquelle) für 2 Std/Tag über 35 Tage. Eine andere Studie zeigte reduzierte Spermienanzahl und -beweglichkeit nach der Bestrahlung von Ratten mit einem WLAN-verbundenen Laptop (7 Std/Tag über eine Woche). Zwei Publikationen beschreiben, dass das Tragen von Mobiltelefonen in einer Hosentasche oder am Gürtel die Beweglichkeit von Spermien vermindert. Eine Reihe von Studien konnte belegen,

Eine Reihe von Studien konnte belegen, dass die generelle Nutzung von Mobiltelefonen in einer verringerten Spermienkonzentration und -beweglichkeit, veränderter Morphologie und verminderter Überlebensfähigkeit resultiert.

dass die generelle Nutzung von Mobiltelefonen in einer verringerten Spermienkonzentration und -beweglichkeit, veränderter Morphologie und verminderter Überlebensfähigkeit resultiert. Auch morphologische Veränderungen der Hoden konnte demonstriert werden.

Eine Arbeitsgruppe zeigte eine Verminderung von Durchmesser und Gewicht der Hodenkanälchen (Ort der Spermienbildung im Hoden) sowie geringere durchschnittliche Höhe des Epithelgewebes der Hodenkanälchen nach

Bestrahlung. Auch die Spermatogenese (Entwicklung und Reifung der Spermien) wird auf molekularer Ebene beeinträchtigt. Bei der Spermatogenese handelt es sich um einen aktiven Teilungsprozess, welcher in zwei Phasen untergliedert ist: der mitotischen und meiotischen Phase. In der mitotischen Phase findet eine Vermehrung der Spermiovorfänger statt, während in der meiotischen Phase der Chromosomensatz reduziert wird (diploid zu haploid) und schließlich reife Spermien entstehen. An diesem komplizierten Prozess sind verschiedene Schlüssel-moleküle beteiligt, welche den Zellzyklus regulieren. Der Zellzyklus wird durch die Belastung mit Mobilfunkstrahlung gestört. Dies resultiert in geringerer Anzahl reifer Spermien sowie einer erhöhten Anzahl von apoptotischen Spermien. Die Arbeitsgruppe um den Autor der Arbeit konnte zeigen, dass die Aktivität eines dieser Schlüssel-moleküle, der Spermienproteinkinase C, nach Einwirkung von Mobilfunkstrahlung verringert ist. Des Weiteren konnten die Wissenschaftler eine verminderte Aktivität eines weiteren Schlüsselenzyms, der Histonkinase H1, demonstrieren. Die Konzentrationen einer dritten Kinase,

der Spermienkreatinkinase, war nach der Bestrahlung mit Mikrowellen erhöht. Die Kreatinkinase spielt eine wichtige Rolle bei der Fortbewegung des Spermiums. Die Autoren der Arbeit weisen darauf hin, dass die drei Kinasen eine wichtige Rolle im Zellstoffwechsel und der Spermatogenese spielen und eine Veränderung der Spermienkinasen durch Mobilfunkstrahlung zu Unfruchtbarkeit führen könnten.

Neben der Beeinflussung der Enzyme hat die Bestrahlung auch Auswirkungen auf den Hormonhaushalt der Hoden. Mikrowellenstrahlung vermindert die Zellzahl der so genannten Leydig-Zellen in Ratten. Bei den Leydig-Zellen handelt es sich um die Testosteronproduzenten. Die Reduktion dieses Zelltyps durch Mikrowellen hat bei den Ratten eine Verringerung der Testosteronkonzentration im Blutserum zur Folge. Mehrere Studien zeigten auf, dass Testosteron unerlässlich ist für die Spermatogenese sowie die Morphologie und Physiologie der Hodenkanälchen. Aus diesem Grund haben Veränderungen des Testosteronspiegels nachteilige Auswirkungen auf die männliche Fruchtbarkeit. Neben dieser unmittelbaren Wirkung auf die Testosteron-produzierenden Zellen kann die Belastung mit HF-EMF die Hormonsekretion in der Hirnanhangdrüse verändern. Hierbei ist eine ganze Reihe von Hormonen betroffen, die unter anderem auch Auswirkungen auf die Spermatogenese und Testosteronproduktion haben können. Unter anderem ist die Bildung des luteinisierenden Hormons (LH) und des follikelstimulierenden Hormons (FSH) betroffen. Diese sind beide an der Reifung der Spermien beteiligt. Auch die Zirbeldrüse wird in ihrer Hormonsekretion negativ beeinflusst. So zeigten Wissenschaftler eine Verminderung der Melatoninkonzentration in der Zirbeldrüse. Melatonin besitzt eine so genannte antigonadotrope Wirkung, d.h. es verkleinert die Geschlechtsdrüsen. Außerdem stellt es ein wichtiges Antioxidans dar.

Einige Studien fanden heraus, dass unfruchtbare Männer Schädigungen der Spermien-DNA aufweisen. Abgesehen von anderen Lebensstilfaktoren konnte nachgewiesen werden, dass das kontinuierliche Nutzen von Mobiltelefonen die Spermien-DNA schädigt. In einem Tierversuch, bei dem die Antenne eines 3G-Mobiltelefons in der Nähe der Hoden von Ratten positioniert war (2 Std/Tag über 60 Tage), wurden Strangbrüche der DNA der Spermienzellen gefunden. Zwei weitere Publikationen beschreiben DNA-Schädigungen der Spermien- bzw. Hodenzellen durch die Bestrahlung mit 2,45 GHz Mikrowellen. Die Belastung von ejakuliertem, menschlichem Samen mit 2,45-GHz-Strahlung in vitro führte zu Veränderung der Beweglichkeit der Spermien sowie DNA-Strangbrüchen. Allerdings ist die HF-Strahlung nicht stark genug, um bei kurzfristiger Belas-

tung genomische Schäden hervorzurufen. Es wird davon ausgegangen, dass die Schäden durch langfristige und kumulative Wirkung hervorgerufen werden. Auch hier wird vorgeschlagen, dass oxidativer Stress eine Schlüsselrolle bei dem zugrundeliegenden Mechanismus der Spermien-DNA-Fragmentierung spielt.

Auch Zellorganellen des Spermiums sind von den Auswirkungen der nicht-ionisierenden Strahlung betroffen. Mikrotubuli (röhrenartige Proteinkomplexe) besitzen vielfältige Funktionen innerhalb des Spermiums. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Zellteilung und dem intrazellulären Transport. Außerdem besteht der Schwanz des Spermiums (Flagellum) hauptsächlich aus Mikrotubuli. Jegliche Änderungen in der Konformation der Mikrotubuli kann zu einer veränderten Form der Geißel führen und dadurch die Beweglichkeit der Spermien schwerwiegend verschlechtern. Das kann zu Unfruchtbarkeit führen. Eine Publikation beschreibt Veränderungen der Anordnung der Mikrotubuli nach Bestrahlung mit Mobilfunk. Neben einem funktionstüchtigen Antrieb braucht das Spermium Energie, um sich fortbewegen zu können. Diese Energie wird in Form von ATP (Adenosintriphosphat) durch die Mitochondrien des Spermiums zu Verfügung gestellt. Wissenschaftler fanden heraus, dass HF-EMF die Mitochondrien der Spermien beschädigt, wodurch die Beweglichkeit der Spermien auf einer anderen Ebene beeinträchtigt wird. Außerdem führt die Beschädigung der Mitochondrien zu einer erhöhten Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS).

Der Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, ist die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies und dadurch hervorgerufener oxidativer Stress. Als oxidativer Stress wird ein Zustand bezeichnet, bei dem das natürliche Gleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien stark auf die Seite der Oxidantien verschoben ist. Die freien Radikale können Lipide, Proteine und DNA oxidieren, was zu einer Beschädigung von Zellen, Geweben und Organen führen kann. Eine Arbeitsgruppe berichtete, dass oxidativer Stress der Hauptfaktor sein könnte, der eine Erhöhung der Spermien-DNA-Schäden verursacht. Spermien sind besonders anfällig gegenüber oxidativem Stress. Bereits kleine Änderungen der ROS-Konzentration spielen eine wichtige Rolle bei der Funktion der Kopfkappe des Spermiums und dessen Fähigkeit, in die Eizelle vorzudringen. Eine Publikation zeigte, dass die ROS-Konzentration im Samen von Ratten, die Mobilfunkstrahlung ausgesetzt waren, signifikant erhöht war. Eine Reihe von Wissenschaftlern berichten, dass erhöhte ROS-Konzentrationen ein Zellgift darstellen

Bereits kleine Änderungen der ROS-Konzentration spielen eine wichtige Rolle bei der Funktion der Kopfkappe des Spermiums und dessen Fähigkeit, in die Eizelle vorzudringen.

und das zum Verlust von Beweglichkeit, Anzahl und Überlebensfähigkeit der Spermien führen kann. Mehrere Studien zeigen, dass unfruchtbare Männer erhöhte ROS-Konzentrationen sowie eine geringere antioxidative Kapazität im Samen aufweisen. Es ist also wichtig, die hochreaktiven, freien Radikale durch Antioxidantien abzufangen. Die antioxidativen Schutzmechanismen des Körpers (Superoxiddismutase, Glutathionperoxidase, Melatonin) werden jedoch durch die Bestrahlung geschwächt.

Die Auswirkungen von Strahlentherapie auf die Fruchtbarkeit von Männern bietet weitere Einsicht in die Folgen von elektromagnetischer Strahlung. Wissenschaftler konnten nachweisen, dass bei der Behandlung von Hodenkrebs eine Strahlentherapie schädlichere Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit hat als Chemotherapie. Während der ersten 50–60 Tage nach einer moderaten Bestrahlung (1,5–2 Gy Dosis) ist die Spermienanzahl um bis zu 50 % verringert. Die Erholungszeit für ein normales Volumen und normale Anzahl der Spermien beträgt 9–18 Monate bei einer Strahlendosis unter 1 Gy, 30 nach 2–3 Gy und 5 oder mehr Jahre bei 4–6 Gy.

Als Schutzmaßnahmen vor HF-EMF in Bezug auf Fruchtbarkeit schlagen die Autoren der Arbeit die Aufnahme von Antioxidantien vor. Insbesondere die Behandlung mit Melatonin reduziert oxidativen Stress und stellt die physiologischen Testosteronkonzentrationen wieder her. Auch der Konsum von grünem Tee, der eine Reihe von Antioxidantien enthält, verbessert die Qualität der Geschlechtszellen.

Schlussfolgerung:

Zusammengefasst analysierten die Autoren eine große Anzahl von Studien. Diese zeigten, dass die Belastung mit Strahlung von Mobiltelefonen, Mikrowellenöfen, Laptops oder WLAN nachteilige Auswirkungen auf die männlichen Geschlechtsorgane haben. Dies beinhaltet verringerte Spermienanzahl, -morphologie, -beweglichkeit, erhöhte DNA-Schäden sowie Störungen in Proteinkinasen, Hormonen und antioxidativen Enzymen. Diese Auswirkungen sind verantwortlich für Unfruchtbarkeit auf Grund einer Überproduktion von ROS. Die Studien deuten darauf hin, dass die von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern hervorgerufenen Wirkungen von physikalischen Parametern, wie z.B. Dauer der Belastung, Entfernung zur Strahlungsquelle, Feldstärke und Tiefe der Durchdringung abhängen. Laut den Autoren gebe es momentan keine Studien, die den wahren Mechanismus, wie genau HF-EMF die männlichen Geschlechtsorgane beeinflussen, darstellen. Außerdem wären die schädigenden Auswirkungen von HF-EMF noch nicht in menschlichen Studien ausreichend nachgewiesen. Deshalb fordern sie weitere Studien, um bessere Erkenntnisse zu erlangen. Außerdem gäbe es nur sehr begrenzte Forschungsergebnisse zu möglichen Schutzmaßnahmen gegenüber Elektrosmog. (RH)

Radiations and male fertility (2018). Von: Kesari KK, Agarwal A, Henkel R. Erschienen in: *Reproductive Biology and Endocrinology* 16 (1), 118; <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1>