

verminderte Spermatogenese sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter bestimmten Bedingungen der Mobilfunknutzung eine geringe Spermienkonzentration zu beobachten ist, dass bestimmte Aspekte der Mobiltelefonnutzung schädliche Auswirkungen auf die Spermienkonzentration haben. Geringe Verhaltensänderungen können die Fruchtbarkeit erhöhen (nicht aufladen und nicht rauchen während man telefoniert, nicht zu lange telefonieren und das Telefon mindestens 50 cm von der Leistenggend entfernt tragen). Stärken dieser Studie sind nach Angaben der Autoren die detaillierten Informationen über die Nutzungsgewohnheiten. Auch andere Forschergruppen haben erhöhte Raten von abnormen Spermienkonzentrationen gefunden, wenn mehr als eine Stunde/Tag telefoniert wurde (Agarwal et al. 2008, Fejes et al. 2005). Einschränkungen der Studie sind mögliche Erinnerungslücken der Patienten, die geringe Teilnehmerzahl und dass Telefontyp, Entfernung zur Basisstation und Body Mass Index nicht erfasst wurden. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Absorptionsraten (SAR) unterschiedlich sind. Die Teilnehmer waren Klinikpatienten, nicht aus der normalen Bevölkerung, wodurch eine Verzerrung durch die Auswahl der Teilnehmer bestehen könnte. Eine Studie mit mehr Teilnehmern sollte folgen.

Quelle:

Zilberlicht A, Wiener-Megnazi Z, Sheinfeld Y, Grach B, Lahav-Baratz S, Dirnfeld M (2015): Habits of cell phone usage and sperm quality – does it warrant attention? *Reproductive BioMedicine Online* 31, 421–426

Mobilfunkwirkung

Schädigungen in vielen Organen durch 900 MHz

Verschiedene Arbeitsgruppen um Prof. Odaci von der Technischen Universität Trabzon/Türkei haben mit sehr ähnlichen Methoden verschiedene Organe (Rückenmark, Hoden, Herz, Nieren, Leber, Milz, Thymus) von jungen männlichen Ratten untersucht, nachdem sie selbst oder deren Mütter während der Trächtigkeit mit 900 MHz bestrahlt worden waren. In allen Fällen waren die untersuchten Organe histologisch und die biochemischen Parameter MDA, SOD und KAT verändert gegenüber den unbestrahlten Kontrollgruppen. Die Schädigungen werden auf oxidativen Stress durch die 900-MHz-Strahlung zurückgeführt.

In den meisten Experimenten wurden weibliche trächtige Ratten von Tag 13–21 je 1 Stunde/Tag mit 900 MHz bestrahlt (13,77–14,22 V/m, 0,50–0,54 W/m², Ganzkörper-SAR 0,024–0,027 W/kg), danach wurden von den männlichen Nachkommen 2 Gruppen zu je 6 oder 9 Tieren gebildet (Kontrolle und bestrahlte Gruppe). Die Jungen wuchsen bei ihren Müttern auf und bekamen keine Behandlung mehr. Am Tag 21 nach der Geburt wurden den jungen Ratten Thymus, Milz, Nieren, Leber, Hoden bzw. Herz entnommen. Ein Teil der Organe wurde im Licht- und Elektronenmikroskop histopathologisch untersucht, der andere Teil der Organe wurde für biochemische Tests aufbereitet. In einem Experiment (İkinci 2015) wurden die männlichen Tiere im Alter von 21 Tagen bis Tag 46 je 1 Stunde pro Tag mit 7,3 W/kg bestrahlt (Ganzkörper-SAR 0,01 W/kg, 0,21 W/m²). Für die Bestrahlung wurden 7,3 W/kg gewählt, weil das etwa der Intensität bei einem Telefongespräch entspricht. Einen Tag nach Beendigung der Bestrahlung wurde das Rückenmarksgewebe ent-

nommen und im Mikroskop (Licht- und Elektronenmikroskop) und auf biochemische Parameter untersucht. Bei der Untersuchung der Hoden kamen 60 Tage alte Tiere zum Einsatz. Bei den Tieren wurde außer dem Hodengewebe Blut und die DNA-Oxidation untersucht.

In allen Experimenten außer im Hodengewebe wurde eine signifikant erhöhte Lipidperoxidation gefunden (nachgewiesen mit Malondialdehyd, MDA), die Enzyme Superoxid-Dismutase (SOD) und Katalase sowie das Antioxidans Glutathion (GSH) waren fast immer signifikant verschieden zwischen bestrahlter und scheinbestrahlter Gruppe, nur vereinzelt gab es keine Unterschiede (z. B. SOD im Thymus).

Rückenmark: Im Licht- und Elektronenmikroskop zeigten die Kontrollen normales Rückenmarksgewebe und normale Neuronen, während man in der bestrahlten Gruppe Atrophie des Rückenmarksgewebes, Vakuolisierung, Myelinverdickung, geschädigte Axone und andere Unregelmäßigkeiten sah. Die biochemischen Untersuchungen zeigten signifikanten Anstieg der Lipidperoxidation (MDA) und der GSH-Konzentration in der bestrahlten Gruppe im Vergleich zu den beiden Kontrollen, während die Konzentration der Katalase (CAT) in der bestrahlten Gruppe signifikant erhöht war gegenüber der Käfigkontrolle, aber auch die scheinbestrahlten Tiere erhöhte Konzentrationen hatten. Bei der Superoxid-Dismutase (SOD) waren die Konzentrationen ebenfalls bei der EMF-Gruppe und der scheinbestrahlten signifikant erhöht gegenüber der Käfigkontrolle, wobei die Werte in der EMF-Gruppe niedriger waren als in der scheinbestrahlten Gruppe. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Tiere auch ohne Bestrahlung in der EMF-Kammer oxidativen Stress hatten, sodass man nicht schließen kann, dass die Strahlung allein den oxidativen Stress verursacht hat.

Die Thymuszellen der EMF-Gruppe sahen im Lichtmikroskop krebsähnlich aus, die Kontrollzellen waren normal, ebenso im Elektronenmikroskop. In der EMF-Gruppe sah man degenerierte Thymuszellen, erhöhte Mitoseaktivität in den Lymphozyten und Epithelzellen, es gab nekrotische Lymphozyten und Epithelzellen, Mitochondriendegeneration und Vakuolen verschiedener Größe überall im Zytoplasma der Thymusepithelzellen, spärliche Keratinfasern und viele Ribosomen.

In der Milz zeigte die Kontrollgruppe typische Retikulozyten, basophile Granulozyten und Lymphozyten sowie normale Zellstrukturen. In der EMF-Gruppe sah man Megakaryozyten, erythroide und lymphoide Zellen (Vorläuferzellen der Blutplättchen, der roten bzw. weißen Blutkörperchen im Knochenmark), das lässt vermuten, dass die Blutzellen außerhalb des Knochenmarks entstanden waren (extramedulläre Hämatopoese). Das ist beim Fetus normal, später krankhaft. Es gab Mitochondriendegeneration, Vakuolen in nekrotischen Retikulozyten, Granulozyten und Lymphozyten, Zisternerweiterung im endoplasmatischen Retikulum und Golgi-Komplex, und nekrotische Epithelzellen.

Der Herzmuskel zeigte im Lichtmikroskop bei 400-facher Vergrößerung in der Kontrollgruppe keine Schäden, in der EMF-Gruppe Degeneration, Vakuolisierung, Kernverluste und erhöhte Apoptoseraten (47,33 gegenüber 18,33 %). Im Elektronenmikroskop zeigten die Herzmuskelzellen bei den bestrahlten Tieren desorganisierte Muskelfasern, aufgelöste Muskelfilamente, Degeneration und Fragmentierung der Muskelfibrillen mit Löchern im Zytoplasma und gestörte Struktur der Z-Bänder. Die Mitochondrien waren angeschwollen, hatten Vakuolen und die inneren Membranen hatten geringere Dichte.

Die Hoden der 60 Tage alten Ratten hatten ein signifikant niedrigeres Gewicht in der EMF-Gruppe gegenüber der Kon-

trolle (1,35 bzw. 1,56 g). Auch das Körpergewicht war signifikant geringer (286 bzw. 251 g). Die Untersuchung des Gewebes im Mikroskop ergab in der EMF-Gruppe signifikant geringere Durchmesser der Samenkanälchen als in der Kontrollgruppe (257,4 bzw. 287,9 μm), die Dicke des Epithels war auch geringer (82,5 bzw. 74,2 μm) und der Apoptose-Index war in den Epithelzellen der Samenkanälchen signifikant erhöht (14,12 %, Kontrolle 3,35 %). Die DNA-Oxidation war im Plasma signifikant erhöht (0,12 zu 0,35 ng/ml). Die Gesamtzahl der Spermien war in Kontrolle und EMF-Gruppe nicht-signifikant vermindert, die Beweglichkeit der Spermienzellen war signifikant vermindert in der bestrahlten Gruppe (von 71 auf 9,0 %), ebenso die Lebensfähigkeit (66,7 auf 36,7 %).

Leber: Im Lichtmikroskop sah man in der bestrahlten Gruppe signifikante Schwellung im Leber-Parenchym, insbesondere in den perizentralen Regionen, im Elektronenmikroskop sah man signifikant häufiger unregelmäßige Zytoplasma-, Kern- und Sinusoid-Strukturen, nekrotischen Leberzellen, ausge dehntes endoplasmatische Retikulum, Vakuolen im Plasma und den Mitochondrien und es war Kupferzell-Phagozytose zu beobachten. Einige Leberzellen hatten zytoplasmatische Verdichtungen, mitotische und Fibrose-aktive Sternzellen mit Kollagenfibrillen im Disse-Raum.

Nieren: Im Alter von 21 Tagen Nieren von den männlichen Jungtieren im Mikroskop (degenerative Veränderungen der Zellen vom Epithel der Tubuli, kleine Zysten in primitiven tubules und große Zysten in den Rinden-Mark- oder Markregionen in der bestrahlten Gruppe. Im Elektronenmikroskop Verlust der Kapillaren um die Tubuli herum und es gab atypische Zellen der parietalen Epithelschicht in der bestrahlten Gruppe. Die biochemischen Analysen ergaben signifikant erhöhte MDA-Konz., signifikant verminderte SOD- und KAT-Konz. Oxidativer Stress verursacht Abnahme der Antioxidanzkonzentrationen. Alle diese Ergebnisse zeigen, dass 900-MHz-Bestrahlung der Tiere im Mutterleib sich auf viele Organe auswirkt. So kann es kommen, dass bei Schäden an Thymus und Milz die Funktionsfähigkeit der Immunzellen, die Entwicklung der Spermienzellen in den reproduktiven Organen oder die antioxidative Abwehr im späteren Leben der Tiere eingeschränkt ist.

Quellen:

- İkinci A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O, Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odacı E (2015): Morphological and antioxidant impairments in the spinal cord of male offspring rats following exposure to a continuous 900-MHz electromagnetic field during early and mid-adolescence. *J Chem Neuro*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.11.006>
- Hancı H, Türedi S, Topal Z, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Ersoz S, Unal B, Odacı E (2015): Can prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field affect the morphology of the spleen and thymus, and alter biomarkers of oxidative damage in 21-day-old male rats? *Biotech Histochem* 90 (7), 535–543
- Türedi S, Hancı H, Topal Z, Unal D, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Odacı E (2015): The effects of prenatal exposure to a 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat heart. *Electromagn Biol Med* 34 (4), 390–397
- Odacı E, Hancı H, Yuluğ E, Türedi S, Aliyazıcıoğlu Y, Kaya H, Çolakoğlu S (2016): Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on 60-day-old rat testis and epididymal sperm quality. *Biotech Histochem* 91 (1), 9–19; doi: 10.3109/10520295.2015.1060356
- Topal Z, Hancı H, Mercantepe T, Erol HS, Keleş ON, Kaya H, Mungan S, Odacı E (2015): The effects of prenatal long-

duration exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old newborn male rat liver. *Turk J Med Sci* 45 (2), 291–7

Odacı E, Ünal D, Mercantepe T, Topal Z, Hancı H, Türedi S, Erol HS, Mungan S, Kaya H, Çolakoğlu S (2015): Pathological effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat kidney. *Biotech Histochem*. 90 (2), 93–101; doi: 10.3109/10520295.2014.947322

Hochfrequenzwirkung auf Pflanzen

Pflanzenreaktionen auf Hochfrequenzstrahlung

Diese Übersichtsarbeit fasst die bekannten Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung von 400 MHz und 10,5 GHz auf Pflanzen zusammen. Die Arbeitsgruppe beschreibt die experimentellen Bedingungen und Ergebnisse auf zellulärer bzw. molekularer Ebene und Reaktionen der ganzen Pflanze, Veränderungen von Enzymaktivitäten, Genexpression und des Wachstums.

Biologische Reaktionen von Pflanzen bedeuten die Fähigkeit, elektromagnetische Felder wahrzunehmen und darauf zu reagieren. Die Reaktionen können auf molekularer (z. B. veränderte Enzymaktivitäten) und zellulärer Ebene (z. B. Membran, Ionenkanäle) stattfinden oder die ganze Pflanze ist betroffen (verändertes Spross- und Wurzelwachstum). Pflanzen sind bessere Untersuchungsobjekte als Tiere, da sie an einem Standort bleiben und somit konstante Bedingungen herrschen. Außerdem sind sie genetisch stabiler, weil sie sich vegetativ vermehren können. Die hier beschriebenen Ergebnisse vieler Experimente betreffen Stärke-, Energie- und Zuckerstoffwechsel, Phenylpropanoide, Polyphenole, Terpene, Membranveränderungen, oxidative Prozesse (Lipid- und Proteinperoxidation, ROS), ATP-Synthese, NO-Gehalt in Zellen (NO-Synthase bei EMF-Stress), Genexpression und -regulation, Transkription, Ca^{2+} -Signaltransduktion und diverse Enzyme. Die morphogenetischen Veränderungen bei verschiedenen Pflanzen sind bei Keimung (Wachstumshemmung der Keimlinge), Wurzelwachstum (Länge und Anzahl der Verzweigungen) und Sprossachsen beobachtet worden. Bestrahlte Pflanzen haben geringeres Trockengewicht, abnorme Zellteilung, selten stärkeres Wachstum. Die meisten Experimente erfolgten mit 900 und 1800 MHz. Beispielsweise wurde an Mais festgestellt, dass 900 MHz nach 24 h Bestrahlung (gepulste oder kontinuierliche Strahlung, amplituden- oder frequenzmoduliert) bei 12 Tage alten Pflanzen die Länge der Pflanzen bei den modulierten Feldern um 25 % reduziert war im Vergleich zur scheinbestrahlten oder unbestrahlten Kontrolle, während bei kontinuierlicher Strahlung Wachstumsförderung erfolgte, was zu der Annahme führt, dass die Art der Modulation die biologische Reaktion bestimmt. Morphogenetische Reaktionen bzw. Veränderungen wurden u. a. an Linse, Phaseolus, Mais, Weizen, Glycine, Hibiscus, Lein und Rose festgestellt. Es sind Keimhemmung, vermindertes Wurzelwachstum (Länge und Anzahl), geringer mitotischer Index, starke Beeinträchtigung des Wachstums von Stamm, Hypocotyl und Koleoptile. Bei Rosen fand man Auswirkungen der Strahlung auf Blütenbildung und Verzweigungen.

Auf Zellebene sind Auswirkungen von Hochfrequenz auf Calcium (Ca^{2+}), einem wichtigen sekundären Botenstoff in Pflanzen, lange bekannt. Von den Signalwegen der EMF-Angriffspunkte, vor allem vom Ca^{2+} -Stoffwechsel weiß man, dass sie an vielen Reaktionen in Pflanzen bei Umweltstress beteiligt sind. Tieferes Verständnis der Pflanzenreaktionen