

Quelle:

Maaroufi K, Had-Aissouni L, Melon C, Sakly M, Abdelmelek H, Poucet B, Save E (2014): Spatial learning, monoamines and oxidative stress in rats exposed to 900 MHz electromagnetic field in combination with iron overload. Behavioural Brain Research 258, 80–89

Mobilfunkforschung

Oxidativer Stress im Augenepithel durch 1,8-GHz-Strahlung

Menschliche Augenlinsen-Epithelzellen (HLE B3-Zellen) wurden 1,8-GHz-Strahlung (SAR 2, 3 und 4 W/kg) ausgesetzt (0,5, 1,0 und 1,5 Stunden). Die Strahlung erzeugte oxidativen Stress, der nachgewiesen wurde durch erhöhte Konzentrationen der Enzyme SOD und Katalase, von GPx, ROS und Lipidperoxidation. Wahrscheinlich wird die Regulation von 4 Genen antioxidativer Enzyme verändert.

Oxidativer Stress ist ein Ungleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien, das biochemische Veränderungen zur Folge hat und zu chronischen Erkrankungen (Herz-Kreislauf- und neurodegenerativen Störungen), sogar zu Krebs führen kann und Alterungsprozesse beschleunigt. Auch Augenkrankheiten wie grauer Star (Trübung der Augenlinse), Makuladegeneration und das Trockene-Augen-Phänomen werden mit oxidativem Stress in Verbindung gebracht. Es gibt viele Studien zu oxidativem Stress (ROS) durch elektromagnetische Felder, die widersprüchliche Ergebnisse hatten. Weil der Augapfel oft der Strahlung von Mobiltelefonen ausgesetzt ist und biologische Wirkungen der Mikrowellen auf Augenlinse und Linsenepithelzellen (LECs) gefunden wurden, sollte geklärt werden, ob die Strahlung oxidativen Stress durch ROS hervorruft. ROS agieren natürlicherweise in den Zellen als Botenstoffe bei Zellteilung, Genexpression und Regulation des Zellwachstums. Das Antioxidans-Abwehrsystem enthält die Enzyme Superoxide Dismutase (SOD), Glutathionperoxidase (GPx) und Katalase (CAT), die die giftigen reaktiven Sauerstoffmoleküle entgiften. Durch oxidativen Stress entsteht auch Lipidperoxidation; als Nachweis dafür gilt Malondialdehyd (MDA). Der Mechanismus, wie elektromagnetische Felder die ROS-Produktion induzieren, ist unklar, es könnten die Antioxidans-Gene betroffen sein. Diese Gene wurden hier ebenfalls untersucht.

Die Zellen wurden in 4 Gruppen – scheinbestrahlte Kontrolle, 2, 3, und 4 W/kg – eingeteilt und mit 1,8-GHz-Strahlung intermittierend (5 min. an/10 min. aus) behandelt (Temperaturanstieg 0,025 °C/W/kg). Die Differenz zur scheinbestrahlten Kontrolle überstieg nie 0,1°C. Für die ROS-Produktion wurden die Zellen 0,5, 1,0 und 1,5 Stunden bestrahlt, für die Lipidperoxidation und die Überlebensrate 6, 12 oder 24 Stunden und für die Gentests 1 Stunde.

Die Ergebnisse, kurz zusammengefasst: Der intrazelluläre ROS-Gehalt stieg bei allen Zeiten und SARs signifikant gegenüber der Kontrolle an, die Überlebensrate verminderte sich signifikant und die MDA-Konzentrationen waren ebenfalls bei allen Proben signifikant erhöht. Sowohl Gen- als auch Proteinexpression der 4 Antioxidans-Enzyme waren nach 1 Stunde Bestrahlung signifikant reduziert im Vergleich zur Kontrolle.

Gewisse, niedrige ROS-Konzentrationen in Zellen und auch außerhalb im Gewebe sind normal in der Zellphysiologie, sie regulieren Signalübertragungen. Wenn das Gleichgewicht zu

höheren ROS-Konzentrationen verschoben ist, ist das ein Zeichen für oxidativen Stress, der Zellbestandteile schädigt und bis zum Zelltod führen kann. Oxidativer Stress verursacht auch Lipidperoxidation und die Bildung von reaktiven Aldehyden. Die Lipidperoxidation hat Verlust an Fluidität, Abnahme des elektrischen Widerstands, reduzierte Proteinmobilität in der Membran und gesteigerten Phospholipidaustausch zwischen der Doppelmembran einer Zelle zur Folge. Das kann im schlimmsten Fall zum Zusammenbruch der Zellmembran und der Inaktivierung der membrangebundenen Enzyme führen, die normalen Funktionen der Zelle gehen verloren. Die Aldehyde (z. B. MDA als ein Produkt der Lipidperoxidation) sind potenziell schädlich. Für MDA hat man Vernetzung und Aggregation der Membranproteine nachgewiesen. MDA oxidiert außerdem mehrfach ungesättigte Fettsäuren und dient damit als Biomarker für Lipidperoxidation durch oxidativen Stress. Oxidativer Stress wiederum führt zu Schädigung der Makromoleküle und ist beteiligt an verschiedenen Krankheitsstadien. Viele Experimente haben gezeigt, dass ROS direkt mit kritischen Signalmolekülen wechselwirken, die ein breites Spektrum von Zellprozessen beeinflussen, z. B. Wachstum und Überlebensrate. Deshalb können diese Vorgänge als wirksame Biomarker für oxidativen Stress herangezogen werden.

Die erhöhten Gehalte von ROS und MDA und die verminderte Überlebensrate der Zellen durch 1,8-GHz-Strahlung zeigen, dass oxidativer Stress bei 3 Intensitäten und Einwirkzeiten auftritt, auch bei 2 W/kg, einer SAR, die bei Mobiltelefonen auftritt. Betroffen davon sind alle Makromoleküle einschließlich Nukleinsäuren, Fette und Proteine. Die erhöhte ROS-Produktion (Superoxidanionen, Hydroxylradikale und H₂O₂) kann innerhalb und außerhalb der Zellen erfolgen, z. B. in den Mitochondrien, die wichtige endogene ROS-Quellen in den meisten Zellen sind. Mitochondrien sind wichtig für Redox-Signale von den Organellen zu den übrigen Teilen der Zelle und sie sind am Ineinandergreifen von Stoffwechselaktivitäten und Signalwegen während des Lebens und Sterbens der Zellen beteiligt. Vermehrte ROS-Bildung trägt zur Schädigung der Mitochondrien bei.

Normale aerobe Zellen nutzen oxidative Phosphorylierung zur ATP-Bildung, das die Energie für den Stoffwechsel liefert. Dabei wandern Elektronen entlang der Elektronentransportkette und es entsteht eine hohe Konzentration von Superoxid in den Mitochondrien. Daher sind sie mit einem Antioxidanssystem ausgestattet, damit sie vor schweren Schäden geschützt sind und normale Funktionen erhalten bleiben. Das Antioxidans-Abwehrsystem der Zellen schließt nicht-enzymatische Moleküle wie Glutathion, Vitamine C und E und Carotinoide sowie Enzymsysteme wie SODs, Katalase und GPxs ein. SODs sind die Hauptmoleküle des Abwehrsystems gegen Sauerstoffradikale. Es gibt 3 Isoformen in Säugetieren: zytoplasmatische Cu/ZnSOD (SOD1), mitochondriale MnSOD (SOD2) und extrazelluläre Cu/ZnSOD (SOD3). Die SOD2 ist ein wichtiges Antioxidans-Enzym, das Superoxid-Anion-Radikale in den Mitochondrien abfängt. Es wird stark reguliert vom SOD2-Gen. SOD2 ist das einzige Enzym, das für das Überleben von Gewebe unter physiologischen Bedingungen in Sauerstoffumgebung nötig ist. SOD1 befindet sich im Zytoplasma, geringe Mengen im Zwischenraum der Mitochondrienmembran. Das Gen dafür katalysiert Sauerstoffradikale zu H₂O₂, das wahrscheinlich an der Zell-Signalisierung teilnimmt. SODs spielen zudem eine wichtige Rolle bei der Verhinderung von oxidativer Inaktivierung der Stickstoffoxide. Die GPx-Familie macht schließlich das H₂O₂ unschädlich. Etliche Studien haben in vivo und in vitro bewiesen, dass EMFs oxidativen Stress hervorrufen (Anstieg der ROS- oder MDA-Konzentrationen). Man hat verminderte Aktivitäten der Antioxidans-Enzyme durch EMFs auf biochemischer Ebene gefun-

den, kennt aber die Ursachen für den Stress auf molekularer Ebene nicht. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Mikrowellen die Gene der Antioxidans-Enzyme (SOD1, SOD 2, CAT, and GPX1) beeinflussen. Die Abnahme der Gen- und Proteinexpression der 4 Antioxidans-Enzyme könnte zu einem Ungleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien führen, weil ein Überschuss an ROS aus den Mitochondrien nicht in der benötigten Zeit abgefangen werden kann und sich die ROS-Produktion dadurch signifikant erhöht in den mit 1,8 GHz bestrahlten HLE B3-Zellen.

Quelle:

Ni S, Yu Y, Zhang Y, Wu W, Lai K et al. (2013): Study of Oxidative Stress in Human Lens Epithelial Cells Exposed to 1.8 GHz Radiofrequency Fields. PLoS ONE 8 (8), e72370. doi:10.1371/journal.pone.0072370

Berufliche Feldbelastung

Hohe Feldstärken durch Warensicherungssysteme

Die in 11 finnischen Einrichtungen gemessenen Feldstärken von Warensicherungssystemen (Supermärkte, Kaufhäuser, Bibliothek) übersteigen in einigen Fällen die ICNIRP-Empfehlungen (141 μ T) von 2010. Das Maximum betrug 189 μ T. Damit ist die Berufsgruppe der Kassierer als besonders belastet anzusehen.

Das Personal in Einrichtungen mit elektronischen Überwachungssystemen gegen Diebstahl ist verschiedenen Feldern ausgesetzt. Diese Systeme werden mit mittleren Frequenzen betrieben (IF-Bereich 300 Hz–100 kHz): elektromagnetische Systeme (EM) mit 20 Hz–18 kHz und akustische (AM) mit 58–60 kHz, die ständig Pulse aussenden. Hinzu kommen niederfrequente Felder von 50 Hz durch Geräte mit Elektromotoren und Transformatoren. Um die Belastung des Personals festzustellen, wurden in 2 finnischen Städten, Helsinki und Kuopio, in 2 kleinen Supermärkten (< 15 Kassen), 5 Supermärkten (20–70 Kassen), einer Bibliothek (6 Kassen), einem Baumarkt (8 Kassen), einem Elektronikgeschäft (59 Kassen) und einer Post (4 Kassen) die Feldstärken von insgesamt 31 Kassen in 3 Raumrichtungen gemessen. Die vorgefundenen EM-Systeme arbeiten mit 5–7,5 kHz und die AM-Systeme mit 58 kHz (gepulste nicht sinusoidale Felder). Relativ hohe Feldstärken wurden zwischen den 12 elektronischen Schranken gemessen. In einem Fall wurde der ICNIRP-Referenzwert von 141 μ T für berufliche Belastung überschritten, ein weiterer Fall war knapp unter der Grenze. Der vergleichbare Wert von 1998 lag bei 43 μ T, der wurde innerhalb der Schranke häufig überschritten. Der Grenzwert für die Öffentlichkeit (38 μ T) wurde in vielen Fällen überschritten, am Sitzplatz der Kassierer waren die Werte deutlich darunter (0,2–4 μ T). Die Kassierer gaben an, 10- bis 100-mal das die Schranke zu passieren, so dass sie kurzzeitig hohen Feldern ausgesetzt sind. So betrug die durchschnittliche Belastung 0,47 μ T in einem Supermarkt mit EM-System und 0,24 μ T in einem Baumarkt mit AM-System; in beiden Fällen fand man Höchstwerte bis zu 19 μ T. Auch an den akustischen Entmagnetisierungs-Einrichtungen (meist 58 kHz) können bis zu hunderte von μ T an den Händen auftreten. Niederfrequente Felder während der De- oder Re-Magnetisierung können bis zu 50 μ T betragen, innerhalb der Schranke bis zu 90 μ T. Die Variationsbreite der niederfrequenten Felder am Sitzplatz war ebenfalls sehr groß, 0,03–4,5 μ T. Die 50-Hz-Felder lagen unter den ICNIRP-Referenzwerten von 2010 (1000 μ T für berufliche Belastung und 200 μ T für die Öffentlichkeit).

Die Autoren sehen die Kassierer als eine Berufsgruppe mit besonderer Belastung an. Es gibt kaum epidemiologische Studien in diesem Frequenzbereich, deshalb empfiehlt man weitere Untersuchungen insbesondere der IF-Frequenzen.

Quelle:

Roivainen P, Eskelinen T, Jokela K, Juutilainen J (2014): Occupational Exposure to Intermediate Frequency and Extremely Low Frequency Magnetic Fields Among Personnel Working Near Electronic Article Surveillance Systems. Bioelectromagnetics DOI: 10.1002/bem.21850

Kommentar: Die ICNIRP-Referenzwerte von 2010 sind mit 141 μ T hoch. So sind sie in Bezug auf gesundheitliche Belange und wissenschaftliche Erkenntnisse und aufgrund der Tatsache, dass elektromagnetische Felder als möglicherweise Krebs erregend eingestuft worden sind, schlicht kein Maßstab.

HF/IF-Wechselwirkungen

TETRA-Funk und Implantate

Eine Arbeitsgruppe der Seibersdorf-Labors in Österreich untersuchte, ob das Funksystem TETRA (Terrestrial Trunked Radio) die Funktion von Implantaten (Herzschrittmacher, Defibrillatoren) stören kann. TETRA wird in mehreren Ländern von Polizei und Rettungsdienst genutzt. Bei Herzschrittmachern weiß man, dass sie durch Mobilfunkgeräte (GSM und UMTS) innerhalb von 20–30 cm Abstand gestört werden können. Nutzer von TETRA-Geräten kommen oft nah an einen Patienten mit Implantaten heran, deshalb ist es wichtig zu wissen, unter welchen Umständen eine Störung vorkommen kann; die verschiedenen Standards und Richtlinien (ICNIRP, IEEE) schützen nicht davor. Getestet wurden 21 Herzschrittmacher und 6 Defibrillatoren verschiedener Hersteller mit 6 verschiedenen TETRA-Sendern (Frequenzen 380–420 MHz), die 90 % der in Österreich verwendeten Geräte repräsentieren. Die Höchstsendeleistungen betragen 1 W für Handgeräte und 3 W für Geräte mit externer Antenne, letztere sind in die Fahrzeuge eingebaut. Es wurden 6 verschiedene Szenarien an einem Modell simuliert, die Implantate kamen in ein Gefäß mit 0,9 %iger Salzlösung. Die 6 Positionen der Geräte am Körper: am Ohr, vor dem Mund, an Schulter, Rücken, Hüfte und Oberschenkel.

5 der 21 Herzschrittmacher wurden von den TETRA-Geräten gestört, einer bei 3 W in 40 cm Abstand von einem Gerät mit externer Antenne und in 30 cm Abstand von einem 1-W-Handgerät. 2 der 6 Defibrillatoren lösten in Gegenwart der TETRA-Geräte einen elektrischen Schock aus, bei einem konnte die Empfindlichkeit nicht reguliert werden, weil das automatisch erfolgt. Bipolare Elektroden sind resistenter gegen Störungen als unipolare auf derselben Empfindlichkeitsstufe. Der höchste Wert trat mit 47 % des ICNIRP-Grenzwerts in der Position „am Kopf“ auf, der niedrigste „auf der Schulter“. Im schlechtesten Fall können 77 % erreicht werden.

Alle Tests wurden mit höchster Sendeleistung und niedrigster Empfindlichkeitsstufe der Implantate und der ungünstigsten Orientierung des Senders zum Implantat durchgeführt zur Erfassung der worst-case-Situation, die nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist z. B. möglich, dass ein Patient sich in der Nähe der Außenantenne am Auto befindet. Will man Gefährdungen ausschließen, sollten Rettungskräfte das TETRA-Gerät vom Patienten mit einem Implantat weit genug entfernt ablegen und die Außenantenne sollte so platziert sein, dass sie möglichst weit weg ist, z. B. auf dem Dach des Autos. Auch wenn nicht alle Möglichkeiten simuliert werden konnten (90 % der in Österreich benutzten Geräte sind dabei, d. h. 10 %