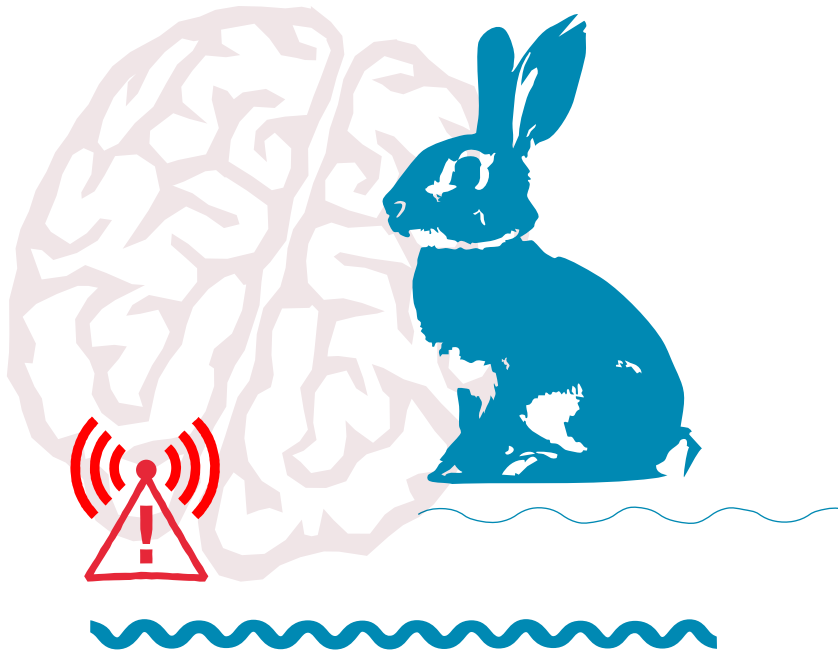


ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



2100-MHz kompromittiert Blut-Hirn-Schranke Auswirkungen von 1800- und 2100-MHz-Mobilfunk auf die Blut-Hirn- Schranke von Neuseeland-Kaninchen

Kizilçay AO, Tütüncü B, Koçarslan M, Gözel MA. (2024). Effects of 1800 MHz and 2100 MHz mobile phone radiation on the blood-brain barrier of New Zealand rabbits. *Medical & Biological Engineering & Computing*, November. <https://doi.org/10.1007/s11517-024-03238-1>

Im Kontext von möglichen gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Mobilfunk ist die Wirkung auf die Blut-Hirn-Schranke (BHS) von besonderer Bedeutung. Diese stellt eine lebenswichtige Barriere dar, welche eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung des physiologischen Milieus des zentralen Nervensystems spielt. Diese Barriere funktioniert im Normalfall so gut, dass sie die Resorption der meisten Pharmazeutika stark limitiert und somit Arzneimittelhersteller vor eine große Herausforderung stellt. Eine Beeinträchtigung der BHS ist mit schweren neurologischen Erkrankungen, wie Alzheimer, Schlaganfällen und multipler Sklerose assoziiert. Frühere Studien haben gezeigt, dass Hochfrequenz in der Lage sein kann, die BHS zu beeinträchtigen. Es konnten Substanzen in das Gehirn gelan-

Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 01/2025, 31. Jahrgang

Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org

Bestellung Printausgabe:

shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 52501

Redaktion ElektrosmogReport

Roman Heeren (RH), M.Sc., Alain Thill (AT), M.Sc.,

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

SEITE

01 > 2100-MHz öffnet Blut-Hirn-Schranke

03 > Exposition von Arbeitern und Biomarker

04 > Kann Mobilfunk Krebs verursachen?

05 > Nicht-thermische RF-EMF-Effekte

08 > Hochfrequenz führt zu Zelltod

09 > Mobilfunkwirkungen im Mutterleib

10 > 5G-Mobilfunk und Hodenschädigung

11 > Digitale Geräte und Migräne

13 > Mobiltelefone und Kopfschmerzen

14 > Babyfon stört Schlaf

16 > 5G und Schlaf-EEG

17 > Mobiltelefone und Hörverlust

18 > Danke an Isabel Wilke!

gen, welche bei einer intakten BHS nicht fähig gewesen wären, diese zu überwinden. Die Wechselwirkung zwischen Mobilfunk und der BHS zu verstehen ist von entscheidender Bedeutung, da jede Störung der BHS-Integrität schwere Auswirkungen auf die neurologische Gesundheit haben könnte. Die vorliegende Studie untersucht die Wirkung von 1800- und 2100-MHz-Strahlung auf die BHS anhand von Neuseeland-Kaninchen. Diese wurden ausgewählt, da sie aufgrund ihrer gut charakterisierten Physiologie und verhältnismäßig großen Gehirne häufig in der neurobiologischen Forschung eingesetzt werden. Das experimentelle Design beinhaltete eine nicht-thermische Befeldung im Bereich der typischen Mobilfunknutzung und intensive Charakterisierung der Befeldungsapparatur.

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 21 weibliche Kaninchen in 3 Gruppen (n = 7) unterteilt: Käfigkontrolle, 1800-MHz-GSM und 2100-MHz-GSM. Die Versuchstiere wurden einmalig für 38 min mit einer Leistungsintensität von 15 dBm befeldet. Die Befeldung wurde innerhalb eines Metallkäfigs durchgeführt, um elektromagnetische Interferenzen zu minimieren. Das Befeldungssystem ermöglichte eine Echtzeiterfassung der abgegebenen Hochfrequenz-Leistungswerte, wodurch gewährleistet werden konnte, dass die Versuchstiere zuverlässig und konstant den gewählten Leistungswerten ausgesetzt waren. Die Permeabilität der BHS wurde mittels Evans-Blue-Färbung beurteilt. Evans-Blue bindet an Plasmaproteine, vor allem an Albumin. Gelangt der Farbstoff ins Gehirn, ist die Integrität der BHS nicht mehr gewährleistet. (Albumin kann im Gehirn eine Reihe von pathologischen Reaktionen auslösen, darunter gestörte Kalium- und Neurotransmitter-Homöostase, Anm. d. Red.). Pro Versuchstier wurden 2 Gehirnprouben aus jeder Hirn-Hemisphäre entnommen, homogenisiert und die Färbung spektrometrisch bei 620 nm analysiert.

Ergebnisse:

Die Wissenschaftler beobachteten Veränderungen in den Evans-Blue-Konzentrationen im Hirngewebe der befeldeten Kaninchen im Vergleich zu den nicht-befeldeten Kontrollen. Die Werte für die Permeabilität der BHS waren sowohl bei der 1800-MHz- als auch der 2100-MHz-Versuchsgruppe im Vergleich zu den Kontrollen gesteigert, wobei lediglich die Werte der 2100-MHz-Gruppe statistische Signifikanz aufwiesen. Es wurde ein statistisch signifikanter Unterschied mit einem Konfidenzniveau von 95 % der Absorption bei 620 nm für linke und rechte Gehirnhälfte bei den Kaninchen der 2100-MHz-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt.

Schlussfolgerungen:

Bereits die einmalige Befeldung unter nicht-thermischen Bedingungen mit einer Hochfrequenzintensität ca. zehnmal niedriger als der „Normalwert“ führte bei 2100 MHz zu einer erhöhten Durchlässigkeit der BHS. Der Befeldungsaufbau wur-

de von den Wissenschaftlern entworfen, um externe Störsignale zu minimieren, um dadurch eine valide Beurteilung der Hochfrequenzwirkung erzielen zu können. Die Versuchstiere wurden ausschließlich den gewünschten Hochfrequenzsignalen ausgesetzt, während die Umgebung kontinuierlich überwacht wurde, um ungewöhnliche Schwankungen zu identifizieren. Die beobachtete erhöhte Permeabilität der BHS könnte verschiedene neurologische Erkrankungen wie z. B. Alzheimer, Schlaganfälle und multiple Sklerose begünstigen. (Insbesondere die Hochfrequenz-Echtzeiterfassung sowie das Messsystem sind als qualitativ hochwertig an dieser Studie zu bewerten. In diesem Kontext wäre eine Scheinbefeldung der Kontrollgruppe wünschenswert gewesen. Anmerkung der Redaktion) Die vorliegende Studie bestätigt die Ergebnisse von (Sirav & Seyhan, 2016). Dort wurde ebenfalls eine erhöhte Permeabilität der BHS nach einmaliger HF-Befeldung, jedoch an Ratten beobachtet. Auch bei längerfristiger HF-Befeldung wurden Beeinträchtigungen der BHS dokumentiert (Tang et al., 2015).

Sirav B, Seyhan N. (2016): Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 75, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.12.010>

Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, Feng H, Chen Z, Zhu G. (2015): Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mcp-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. *Brain Research*, 1601, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.019>

„Die erhöhte Permeabilität der BHS könnte Alzheimer, Schlaganfälle und multiple Sklerose begünstigen.“



Exposition von Arbeitern und Biomarker

Die Auswirkungen von Umspannwerken und Mobilfunktürmen auf oxidativen Stress und Schilddrüsenhormone

Kadhim LH, Mohammed MT, Al-Fartusie FS, Almohammadawi K (2023). The Effect of Electrical Substations and Cellular Communication Towers on Oxidative Stress and Thyroid Gland Hormones. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2023 Apr 1;66(4):115-21. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.141247.6173>

Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) sind ein normales Produkt des menschlichen Körpers unter physiologischen Bedingungen und erfüllen eine nützliche Funktion als Redox-Botenzstoffe. Dennoch weisen ROS oxidative Eigenschaften auf, die zu einer Schädigung der Makromoleküle der Zellen führen, wie z. B. Lipidperoxidation, oxidative Schädigung von Proteinen, oxidative Schädigung von Nukleinsäuren (DNA und RNA), was zu Zellaoptose und pathologischen Zuständen führen kann. Es gibt exogene Quellen von ROS, die sich direkt auf die Entwicklung von oxidativem Stress auswirken können, darunter Strahlung, Schwermetalle, Rauch und Insektizide. Der Körper enthält viele Antioxidantien, die die oxidativen Auswirkungen von ROS neutralisieren und entgiften sollen. Oxidativer Stress entsteht also entweder durch erhöhte ROS-Konzentrationen, reduzierte Antioxidantienkonzentrationen oder durch beides. In der vorliegenden Studie wurden der oxidative Stress, der Gehalt an Antioxidantien und die Schilddrüsenhormone im Serum von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken (die mit Ultrahochspannung arbeiten) und Mobilfunkmasten untersucht. Der oxidative Stress wurde anhand der Indikatoren Malondialdehyd (MDA) und Gesamtoxidationsstatus (TOS) gemessen, während die Antioxidantien anhand der Indikatoren GSH und Gesamtantioxidationskapazität (TAC) gemessen wurden. Was die Schilddrüsenfunktion betrifft, so wurden Thyroxin (T4), Trijodthyronin (T3) und schilddrüsenstimulierendes Hormon (TSH) gemessen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie umfasste 40 Arbeiter in elektrischen Umspannwerken (Altersspanne 19–60 Jahre), 40 Techniker von Mobilfunktürmen (Altersspanne 26–55 Jahre) und 40 gesunde Kontrollpersonen (Altersspanne 21–55 Jahre). Die Probanden waren alle männlich. Alle Daten wurden von November 2021 bis Januar 2022 erhoben. Die TSH-, T3- und T4-Werte wurden mit einem Cobas e411-Analysegerät (Roche, Deutschland) ermittelt. Die Werte von TAC, TOS, MDA und GSH wurden mit einem Spektrophotometer PD-303 APEL (Japan) bestimmt.

Ergebnisse:

Die Unterschiede bei Alter, BMI und Prozentsatz der Raucher waren nicht signifikant ($p > 0,05$) zwischen den exponier-

ten Gruppen und der Kontrollgruppe. Der TSH-Spiegel war bei Arbeitern in Umspannwerken leicht aber signifikant ($p < 0,05$) erhöht im Vergleich zu Kontrollpersonen und Arbeitern an Mobilfunkmasten. Die Unterschiede bei den T3- und T4-Werten waren nicht signifikant. Der MDA-Gehalt war im Serum von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken (um 220 %) und von Arbeitern an Mobilfunkmasten (um 120 %) signifikant erhöht im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die TOS-Konzentration war im Serum von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken (um 530 %) und von Arbeitern an Mobilfunkmasten (um 240 %) signifikant erhöht im Vergleich zur Kontrolle. Darüber hinaus waren die MDA- und TOS-Werte der Beschäftigten in elektrischen Umspannwerken signifikant ($p < 0,05$) höher als die der Beschäftigten an Mobilfunkmasten. Der TAC-Gehalt war im Serum von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken (-61 %) und von Arbeitern an Mobilfunkmasten (-42 %) im Vergleich zur Kontrolle signifikant reduziert. Der GSH-Gehalt war im Serum von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken (-77 %) und von Arbeitern an Mobilfunkmasten (-28 %) signifikant reduziert im Vergleich zu den Kontrollpersonen. Darüber hinaus waren die TAC- und GSH-Werte der Beschäftigten in elektrischen Umspannwerken deutlich ($p < 0,05$) niedriger als die der Beschäftigten an Mobilfunkmasten.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse zeigen einen Anstieg der Lipidperoxidation (MDA) und der gesamten oxidativen Schädigung (TOS) in Verbindung mit einem Rückgang des reduzierten Glutathions (GSH) und der gesamten antioxidativen Kapazität (TAC) im Serum von Arbeitern elektrischer Umspannwerke und Mobilfunkmasten. Die schlimmsten Auswirkungen wurden bei Arbeitern in elektrischen Umspannwerken beobachtet. Die hohe EMF-Belastung, die mit diesen Berufen verbunden ist, führt zu erhöhtem oxidativem Stress und könnte auf lange Sicht zu verschiedenen Gesundheitsrisiken führen. (AT)

„Der MDA-Gehalt war von Arbeitern in elektrischen Umspannwerken und an Mobilfunkmasten signifikant erhöht.“



Kann Mobilfunk Krebs verursachen?

Zusammenhang zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung von Mobiltelefonen und Hirntumoren: Meta-Analysen unter Verwendung verschiedener Kategorien zur Bewertung von HF-EMF-Belastungen

Moon J, Kwon J, Mun Y (2024). Relationship between radiofrequency-electromagnetic radiation from cellular phones and brain tumor: meta-analyses using various proxies for RF-EMR exposure-outcome assessment. *Environmental Health*, 23(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01117-8>

Die Debatte, ob es einen Zusammenhang zwischen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) von Mobiltelefonen und dem Auftreten von Hirntumoren gibt, wird seit Anfang der 2000er geführt. Viele Forscher haben Meta- und Subgruppenanalysen durchgeführt, um diese Frage zu beantworten. Ein eindeutig positiver Zusammenhang wurde in diesen Studien jedoch nicht festgestellt. In der jüngeren Vergangenheit hat sich, mit der Einführung von 3G-Telefonen, das Verhalten von Handynutzern drastisch verändert. Es stehen nicht mehr Telefonate, sondern Multimedienutzung wie etwa YouTube, TikTok oder andere soziale Medien im Vordergrund. Darüber hinaus verbreitet sich die Nutzung von WPAN-Technologien, wie z. B. Bluetooth-Geräten. Diese Veränderungen erhöhen die Belastungsdauer mit Mobilfunk. Außerdem wird, in Abhängigkeit der Nutzungscharakteristika einer spezifischen Person, die Vergleichbarkeit der Exposition erschwert. In Anbetracht dieser Entwicklung sind die derzeit verwendeten Maßstäbe für die Bewertung von Mobilfunkbelastung zu ungenau und reichen für eine valide Bewertung von Tumorinzidenzen nicht aus. In der Theorie sollte eine akkurate Bewertung der Mobilfunkbelastung auf i) ortsspezifische, ii) Zeitintegralen von iii) spezifischen Absorptionsraten (SAR) beruhen. Die üblichen Maßstäbe, wie Jahre von Mobiltelefonnutzung, kumulative Telefonatdauer und Anzahl von Telefonaten pro Woche stellen allenfalls grobe Indikatoren dar. Der iii) Parameter SAR setzt sich näherungsweise aus zwei Komponenten, nämlich Nutzungsdauer und Ausgangsleistung des Mobiltelefons zusammen. Die Ausgangsleistung variiert jedoch massiv, in Abhängigkeit von u. a. Telefonmodell, verwendetem Netz und Nutzungsort. Bezüglich des ii) Parameters Zeitintegral wäre eine angemessene Näherung ein gewichteter Durchschnitt der kumulativen Nutzungsdauer, gewichtet nach der Leistung zu jedem Zeitpunkt, differenziert zwischen der jeweiligen Kopfseite und unter Berücksichtigung von Bluetooth-Freisprecheinrichtungen bzw. Kopfhörern. Die vorliegende Übersichtsarbeit beschäftigt sich mit einem möglichen Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und Auftreten von Hirn-

tumoren. Im Speziellen führten die Autoren eine Reihe von Meta- und Subgruppenanalysen unter Verwendung verschiedener Kategorien zur Belastungsbewertung durch, von grob bis hin zu präziseren Kategorisierungen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren analysierten originäre Forschungsartikel zu dem Thema Mobilfunk (1G, 2G und 3G) und Gehirntumor-Risiko aus den Datenbanken PubMed, EMBASE und Cochrane Library, welche bis Juli 2024 veröffentlicht wurden. Übersichtsarbeiten, Konferenzzusammenfassungen und ähnliches wurden ausgeschlossen. Kohortenstudien wurden einbezogen, aber separat analysiert. Insgesamt wurden aus 19 Fall-Kontroll-Studien und 5 Kohortenstudien relevante Daten extrahiert und in die Meta-Analyse einbezogen. Anstelle der üblichen Bewertung des Verzerrungsrisikos (Risk of Bias, RoB) für jede einzelne Studie, untersuchten die Autoren Auswahl- und Erinnerungsverzerrung für die Gesamt-Mobiltelefon-Nutzung sowie Fehlklassifizierung und Erinnerungsverzerrung für ipsilaterale/kontralaterale Nutzung. (Ipsilateral bedeutet auf derselben Seite des Körpers befindlich, kontralateral auf der entgegengesetzten Seite befindlich. Bei ipsilateraler Nutzung wird das Mobiltelefon auf der Seite des Kopfes gehalten, wo der Tumor entstanden ist, bei kontralateraler Nutzung auf der gegenüberliegenden Seite, Anm. d. Red.). Die Haupt-Meta- sowie Subgruppenanalysen der Fall-Kontroll-Studien wurden in vier Kategorien unterteilt: 1) regelmäßige vs. unregelmäßige Mobiltelefonnutzung; 2) Lateralität (ipsilaterale und kontralaterale Nutzung vs. unregelmäßige Nutzung); 3) Nutzungsdauer > 10 oder < 10 Jahre; 4) die Analysen der ersten drei Kategorien differenziert nach Art des Hirntumors (Gliom, Meningiom, Akustikusneurinom, Hypophysentumor, bösartiger Tumor). Für Probanden, deren kumulative Nutzungsdauer mehr als 896 Stunden betrug, wurde eine separate Meta-Analyse durchgeführt. Bei den Kohortenstudien konnten die Kategorien a) „jemals Gebrauch“ vs. „nie Gebrauch“ und b) „über 10 Jahre Gebrauch“ vs. „nie Gebrauch“ erhoben werden; c) differenziert wurde innerhalb dieser beiden Kategorien in Meningiome, Akustikusneurinome und Gliome. Für alle Meta-Analysen wurde eine statistische Auswertung mit Angabe einer gebündelten Punktschätzung (odds ratio, OR) und einem 95 %-Konfidenzintervall (CI) durchgeführt.

Ergebnisse:

Zunächst werden die Ergebnisse der Fall-Kontroll-Studien zusammengefasst. Im Vergleich zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Nutzern (Kategorie 1) von Mobiltelefonen gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede der Tumorinzidenzen. Bei der Einbeziehung der Lateralität (Kategorie 2) wurde eine statistisch signifikante 40 %ige Erhöhung des allgemeinen Hirntumorrisikos bei ipsilateraler Mobiltelefonie festgestellt. Im Gegensatz dazu war das Risiko bei kontralateraler Nutzung nicht erhöht. Bei einer Nutzdauer von mehr als 10 Jahren (Kate-

gorie 3) wurde eine statistisch signifikante Risikosteigerung von 27 % dokumentiert. Eine geringere Nutzdauer von weniger als 10 Jahren war nicht mit einem gesteigerten Auftreten von Hirntumoren assoziiert. Bei der Differenzierung nach Tumorarten wurde in der Kategorie 1 ein um 16 % vermindertes signifikantes Risiko an Meningiomen zu erkranken festgestellt. Bei ipsilateraler Nutzung war das Risiko für Meningiome um 20 %, für Gliome um 45 % und für bösartige Tumore um 93 % gesteigert. Probanden mit mehr als 10 Jahren Nutzungsdauer besaßen ein um 32 % gesteigertes Risiko an Gliomen zu erkranken. Alle anderen Kombinationen aus Subkategorie und Tumorart lieferten keine statistisch signifikanten Daten. Bei einer kumulativen Nutzungsdauer von mehr als 896 Stunden wurde ein 59 % erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hirntumoren, unabhängig von der Tumorart, festgestellt. Die Meta-Analyse der Kohortenstudien lieferte keine statistisch signifikanten Hinweise auf ein erhöhtes Tumorrisiko durch Mobiltelefonie.

Schlussfolgerungen:

In der vorliegenden Meta-Analyse zeigen die gebündelten Punktschätzungen (OR) mit zunehmender Präzisierung der Subgruppen gesteigerte und statistisch signifikante Werte. (Die Risikosteigerungen im zweistelligen Prozentbereich sind hierbei als eklatant einzustufen, Anm. d. Redaktion). Laut den Autoren war im Falle der Kohortenstudien die Anzahl der einbezogenen Publikationen zu gering, um valide Schlussfolgerungen ziehen zu können. Außerdem sei die Erhebung der Expositionsbedingungen, im Hinblick auf die erwähnten i) ortsspezifischen, ii) Zeitintegralen von iii) spezifischen Absorptionsraten (SAR) zu ungenau. Sie fordern für künftige Kohortenstudien eine Konkretisierung der Belastungs-Subkategorien. Zudem sei es von großer Bedeutung, die sich verändernde Nutzung, inklusive WPAN-Technologien, zu berücksichtigen. Abgesehen davon gäbe es Hinweise für mögliche Unterschätzungen der Risikobewertung früherer Studien. Dies habe eine Nachjustierung des Verzerrungsrisikos eben dieser Studien ergeben. Auch die relativ kurzen Beobachtungszeiträume in Anbetracht der Latenzzeit bei der Tumorentwicklung sowie das Alter bei Beginn der Belastung seien Faktoren, die bei nicht ordnungsgemäßer Berücksichtigung zu einer Risikounterschätzung führen könnten. Zukünftige Studien sollten, laut den Autoren, versuchen, diese Verzerrungen in ihrem Studiendesign auszugleichen.

Bei ipsilateraler Nutzung war das Risiko für Meningiome um 20 %, für Gliome um 45 % und für bösartige Tumore um 93 % gesteigert.



Nicht-thermische RF-EMF-Effekte

Mögliche nicht-thermische molekulare Wirkungen von externen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf Krebs

Dieper A, Scheidegger S, Fuchsli RM, Veltsista PD, Stein U, Weyland M, Gerster D, Beck M, Bengtsson O, Zips D, Ghadjar P (2024). Literature review: potential non-thermal molecular effects of external radio-frequency electromagnetic fields on cancer. *Internationale Zeitschrift für Hyperthermie*. 2024 Dec 31;41(1):2379992. <https://doi.org/10.1080/02656736.2024.2379992>

Die Hyperthermie-Therapie, d.h. die Erwärmung von Tumoren auf Temperaturen von 39 - 44° C durch hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF), wurde als zusätzliche Krebsbehandlung zu etablierten Therapieverfahren wie Bestrahlung und Chemotherapie vorgeschlagen. Es gibt jedoch technische Einschränkungen, um die erforderlichen Temperaturen tief im Körper zu erreichen. Insbesondere die Thermoregulation der Patienten, d. h. die durchblutungsbedingte Wärmeabgabe aus den Zielgebieten, stellt eine erhebliche Einschränkung für eine effiziente Hyperthermie dar. Die krebshemmenden Wirkungen von HF-EMF, die für Chemo- und Strahlentherapie sensibilisieren, wurden bisher auf die induzierten Temperaturerhöhungen am Tumorort und die daraus resultierenden Effekte zurückgeführt. Immer mehr Forschungsergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass HF-EMF über die lokale Temperaturerhöhung hinaus auch tumorschädigende Wirkungen haben. Zahlreiche klinische Daten deuten darauf hin, dass die Methode der tumorbehandelnden Felder (TTF) (Novocure, Schweiz), bei der HF-EMF mit niedriger Intensität und mittlerer Frequenz bei Temperaturen unter 38 °C eingesetzt werden, ein signifikantes Absterben von Krebszellen bewirkt. Dasselbe gilt für HF-EMF im GHz-Spektrum bei Intensitäten, die nur vernachlässigbar geringe Temperaturerhöhungen (+ 1,58 °C) verursachen. Während die genauen Mechanismen, durch die nicht-thermische RF-EMF Anti-Krebs-Effekte bewirken könnten, noch weitgehend ungeklärt sind, besteht in der wissenschaftlichen Gemeinschaft Konsens darüber, dass es spezifische Merkmale gibt, die ausschließlich in Tumorzellen auftreten und in gesunden Gewebezellen nicht zu finden sind. Neben der veränderten Expression von Onkogenen, Tumor promotoren und Suppressor-Genen, die in Krebszellen ubiquitär vorhanden sind, sollen diese besonderen Krebsmerkmale in ihren ausgeprägten bioelektrischen Eigenschaften liegen, wie z.B. der Expression von abweichenden Ionenkanälen und Membranpotentialen, sowie in ihren spezifischen mechanischen Eigenschaften, d.h. einer veränderten Elastizität der Zellmembran und einer abweichenden Organisation des Zytoskeletts. Es stellt sich die Frage, ob die oben genannten Merkmale Krebszellen besonders anfällig für die Wirkungen von HF-EMF-Strahlung

lung machen können. Die genaue Natur der molekularen Mechanismen, die bei HF-EMF-Exposition aktiviert werden, muss noch untersucht und festgestellt werden. Die hier besprochene Übersichtsarbeit zielte darauf ab, die vorhandenen Daten über nicht-thermische molekulare Wirkungen von HF-EMF auf Krebszellen über das gesamte HF-EMF-Spektrum (3 kHz-300 GHz) zu sammeln und zu analysieren. Um dies zu erreichen, wurden nur Studien mit einem maximalen Temperaturanstieg von 1,58 °C (ausgehend vom Ausgangswert 37 °C) einbezogen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren führten eine Überprüfung gemäß den PRISMA-Richtlinien durch. Alle Studien, die über Wirkungen berichten, die durch Frequenzen außerhalb des HF-Spektrums hervorgerufen werden, wurden ausgeschlossen. Studien ohne Temperaturkontrolle oder solche, die HF-EMF anwenden, die einen signifikanten Temperaturanstieg innerhalb der Zellen ($> 40,5$ °C) verursachen, wurden ebenfalls ausgeschlossen, da das Ziel darin bestand, ausschließlich die nicht temperaturinduzierten Effekte von HF-EMF zu untersuchen. Es wurde eine Literaturrecherche in verschiedenen Datenbanken durchgeführt, insbesondere in PubMed (MEDLINE) und Scopus (Elsevier). Zusätzlich wurde weitere Literatur identifiziert, indem die Quellen der zuvor gesammelten und für die Aufnahme ausgewählten Arbeiten untersucht wurden. Eine Bewertung des Verzerrungsrisikos wurde nicht durchgeführt, da dies für eine präklinische Untersuchung als ungeeignet erachtet wurde.

Ergebnisse:

In diese Überprüfung wurden 32 präklinische Studien einbezogen, die eine Vielzahl von EMF-induzierten molekularen Wirkungen in Krebszellen auflisten. Die Studien konnten in drei EMF-Expositionsgruppen eingeteilt werden:

Gruppe 1 (20 Studien): Die Kategorie „TTF“, bei der ein elektrisches Wechselfeld erzeugt wird, das über isolierte Drahtpaare an den Körper des Patienten angelegt wird. TTF ist durch eine mittlere Frequenz und eine niedrige Intensität gekennzeichnet und umfasst Studien mit einem Frequenzbereich von 100-300 kHz. Die Feldstärke variierte von 0,5 bis 3 V/cm.

Gruppe 2 (4 Studien): „Therabionics/AutEMDev“-Ansätze fallen in die Kategorie Hochfrequenz, niedrige Intensität. In den einbezogenen Studien wurden Frequenzen zwischen 27,12 MHz und 147 MHz verwendet, wobei die SAR-Werte zwischen 0,01 und 0,4 W/kg lagen. Diese Gruppe zeichnet sich vor allem durch eine gleichmäßige Amplitudenmodulation mit einem besonders hohen Modulationsindex von 80–85 % aus.

Gruppe 3 (6 Studien): Millimeterwellen (MMW) und Mikrowellen (MW) RF fallen in die Kategorie der extrem hohen Frequenzen mit geringer Intensität. Die Frequenzen reichen von 900 MHz bis 105 GHz, die einfallenden Leistungsdichten reichen von 0,001 bis 0,2 mW/m² (0,01 bis 2 W/m²), und die SAR-Werte sind niedrig (0,0038 bis 1 W/kg).

Von den 32 analysierten präklinischen Studien berichteten 26 direkt über eine verringerte Proliferation, Lebensfähigkeit oder Migration von Krebszellen *in vitro* und *in vivo* in Tiertumoren nach HF-EMF-Behandlung. Mehrere in dieser Übersichtsarbeit behandelte Studien berichten über eine signifikant verringerte Zellproliferation nach HF-EMF-Behandlung. Innerhalb des mittleren HF-EMF-Spektrums zwischen 100–300 kHz, das durch TTF oder TTF-ähnliche Applikatoren angewendet wird.

Eine gleichmäßige TTF-Exposition bei 1,5 V/cm für 24 Stunden hemmt die Proliferationsrate von Brustkrebszellen signifikant, was zu einem deutlichen Rückgang der Zellzahl führt ($p < 0,0001$). Jimenez et al. 2019 beobachteten eine signifikante Proliferationshemmung nach einer 27,12 MHz amplitudenmodulierten EMF-Behandlung mit Therabionics. Beneduci et al. 2005 berichteten in ähnlicher Weise über wachstumshemmende Wirkungen nach RF-EMF-Anwendung des Mikrowellenspektrums bei 53-78 GHz bei menschlichen Brustkrebszellen MCF-7 (Verringerung des Zellwachstums um 60 %). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein breites Spektrum spezifischer Frequenzen anstelle eines engen HF-EMF-Bereichs signifikante wachstumshemmende Wirkungen bei Krebszellen hervorrufen kann. 14 präklinische Studien berichteten durchweg über eine erhebliche Verringerung der Lebensfähigkeit von Krebszellen nach HF-EMF-Bestrahlung. Mehrere Autoren berichteten über anti-migratorische und metastasierungshemmende Wirkungen in Krebszellen nach RF-EMF-Exposition.

Vier in der Übersichtsarbeit enthaltene Veröffentlichungen bestätigen signifikante Ionenflüsse durch Krebszellmembranen. Die Ergebnisse von Neuhaus et al. identifizieren den L-Typ Kalziumkanal CACNA1C als potenzielles Ziel der HF-Stimulation. Sie messen einen erheblichen Anstieg des freien Ca²⁺ innerhalb von „GBM“-Krebszellen nach 20 Minuten TTF-Stimulation ($p < 0,01$). Die Verabreichung von Benidipin, einem Kalziumkanalblocker, hebt den TTF-induzierten Ca²⁺-Anstieg auf, was bestätigt, dass der Ca²⁺-Kanal geöffnet wird und nicht eine allgemeine Membranschädigung vorliegt. Jimenez und Sharma identifizierten den T-Typ Kalziumkanal CACNA1H als potenzielles RF-EMF-Ziel. Beide berichteten über einen signifikanten Einstrom von Ca²⁺ in menschliche Brustkrebszellen bzw. hepatozelluläre Karzinomzellen. RF-EMF-Bestrahlung reduzierte signifikant die Proliferation von Krebszellen über die Öffnung von CACNA1H im Vergleich zu Zellen, die den Kanalblocker Ethosuximid Ca²⁺ erhielten. Der RF-EMF-induzierte Kalziumeinstrom könnte die Genexpression über eine intrazelluläre Kalziumerhöhung modulieren und zytosolische Enzyme beeinflussen, die intrinsische Wege zur Regulierung von Proliferation, Metastasierung und Apoptose modulieren. Caraglia et al. vermuten, dass die MW-EMF-Exposition proliferative Gene durch Hitzeschockprotein (HSP)-abhängige Mechanismen reduziert. Sie fanden heraus, dass eine 3-stündige MW-Exposition die HSP90-Expression um das Fünffache reduzierte, während die HSP20- und HSP70-Expression hochreguliert wurde. Dies deutet auf einen möglichen Mechanismus

für die MW-EMF-induzierte Apoptose durch Inaktivierung des HSP90/Multichaperon-Komplexes und den Abbau von Schlüsselproteinen hin, die für die Zellproliferation und die Überlebenssignale wichtig sind. Interessanterweise wirkte die Überexpression von HSP90 der MW-EMF-induzierten Apoptose entgegen.

Es wird angenommen, dass Behandlungen wie TTF bestimmte intrazelluläre Prozesse behindern, indem sie bestimmte Partikel elektrisch polarisieren, die beispielsweise für die Bildung des Spindelapparats und der Spaltfurchen während der Mitose wichtig sind, und so eine proliferationshemmende Wirkung haben. Dies deutet darauf hin, dass RF-EMF auf elektromechanische Weise auf Krebszellen einwirken können (elektrische Polarisation durch RF-EMF führt anscheinend zu einer mechanischen Folge, d.h. zu einer Störung der Bildung des Spindelapparats). Aus der vorliegenden Literatur geht hervor, dass RF-EMF die spezifische Anordnung hochpolarisierter, räumlich orientierter Proteine in mitotischen Zellen, wie Tubulin und Septin 7, stören. Dies hemmt die Tubulin-Depolymerisation, die für die korrekte Bildung des Spindelapparats von entscheidender Bedeutung ist, was letztlich zu einer Störung der Mitose führt und die Proliferation von Krebszellen hemmt. Die Störung von Mitose und Zytokinese bietet einen Erklärungsansatz für die selektive Schädigung von Krebszellen durch elektrische HF-EMF-Stimulation, die auf den hochgradig proliferativen Zustand der Krebszellen im Vergleich zu ruhenden gesunden Gewebezellen zurückzuführen ist. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine HF-EMF-Behandlung verschiedene zelluläre Strukturen stören kann, darunter die Plasmamembran, den Spindelapparat und die DNA-Replikationsmaschinerie, was zu antiproliferativen Wirkungen führt.

Schlussfolgerung:

Die Analyse der Literatur gibt einen ersten Überblick über die vielfältigen nicht temperaturbedingten molekularen Wirkungen, die bei HF-EMF-Bestrahlung auf Krebszellen beobachtet werden können, und legt nahe, dass die HF-EMF-Behandlung insbesondere auf Ionenkanäle und die Zellmechanik abzielen scheint. In keiner der untersuchten Studien wurde eine Proliferation von Krebszellen oder eine Stimulation der Migration von Krebszellen durch RF-EMF-Behandlung beobachtet. Dies ist insofern bemerkenswert, als die beobachteten HF-EMF-Effekte auf Krebszellen im Gegensatz zu den berichteten positiv stimulierenden Effekten von EMF auf gesunde Gewebezellen zu stehen scheinen (die möglicherweise das Risiko der Krebsentstehung erhöhen, Anm. der Redaktion). Eine sorgfältige Dosimetrie ist jedoch entscheidend für eine sichere und wirksame HF-Therapie. In vielen Studien wurde über die Bedeutung der optimalen Frequenzwahl für die TTF-Anwendung bei den verschiedenen Krebszelllinien berichtet. Sie berichten, dass jede Krebszelllinie ein bestimmtes Frequenzoptimum aufweist, bei dem die krebshemmende Wirkung am größten ist. Die Anwendung von Frequenzen außerhalb dieses Optimums führt entweder zu einem geringeren Aus-

maß oder zu einem völligen Fehlen signifikanter krebsschädigender Wirkungen.

Die Ergebnisse von Branter et al. 2022 und Smothers et al. 2023 unterstreichen, wie wichtig es ist, die HF-Intensität sorgfältig zu dosieren, um unbeabsichtigte Folgen für gesunde Zellen zu vermeiden und dennoch eine signifikante Schädigung von Krebszellen zu erreichen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer weiteren Untersuchung der Auswirkungen von HF-EMF auf gesunde Zellen innerhalb therapeutischer Bereiche.

Eine Beobachtung, die derzeit noch nicht verstanden wird, ist die Tatsache, dass die gleichzeitige Anwendung mehrerer Frequenzen, wie sie von Lin et al. beschrieben wird, im Vergleich zu herkömmlichen Zwei-Platten-Elektroden, die eine einzelne MHz-HF oder eine einzelne GHz-HF ausstrahlen, bessere Ergebnisse bei der Krebsbekämpfung zu erzielen scheint. Die Tatsache, dass es keine einzige optimale Frequenz für die Beeinflussung von Krebszellen durch HF-EMF gibt, wird durch die Tatsache nahegelegt, dass mehrere spezifische Frequenzen in der Lage zu sein scheinen, starke krebshemmende Wirkungen in derselben Zelllinie zu induzieren. So reagieren beispielsweise MCF-7-Brustkrebszellen sowohl auf 150 kHz TFF als auch auf HF im GHz-Spektrum (53,57–78,33 GHz). Eine Erklärung für diese Beobachtung könnte sein, dass verschiedene Frequenzen auf verschiedene spezifische Zellkomponenten wie Mikrotubuli, Vesikel, DNA-Strukturen und Mitochondrienmembranen abzielen.

Bei mittleren Frequenzen (TTF-Bereich) wird die Zellmembran gestört, und die Feldenergie im Zytoplasma nimmt stark zu, was eine mögliche Erklärung für die beobachteten Auswirkungen auf die Organisation des Zytoskeletts und mitotische Prozesse bei HF-Strahlung im mittleren Frequenzbereich bietet. Im Gegensatz dazu scheinen sich die beobachteten HF-Effekte mit zunehmenden und höheren Frequenzbereichen mehr auf die genetischen Kaskaden zu verlagern und die mRNA- und Proteinebenen signifikant zu beeinflussen, da höhere Frequenzen es ermöglichen, die Kernmembran signifikant zu stimulieren und möglicherweise zu stören.

Die vorhandene Literatur deutet auf ein noch nicht ausgeschöpftes therapeutisches Potenzial der HF-EMF-Behandlung hin, wenn eine angemessene und sorgfältige Dosimetrie angewendet wird. Weitere Forschung ist unerlässlich, um optimale krebstypspezifische HF-EMF-Frequenzen, Feldintensitäten und Expositionsintervalle zu bestimmen. (AT)

„Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine HF-EMF-Behandlung verschiedene zelluläre Strukturen stören kann.“



Hochfrequenz führt zu Zelltod

Hochfrequenz-induzierte zeitabhängige Veränderung der Genexpression und Apoptose in einer Glioblastom-Zelllinie

Tuysuz MZ, Kayhan H, Saglam ASY, Senturk F, Bagriacik EU, Yagci M, Canseven AG (2025). Radiofrequency Induced Time-Dependent Alterations in Gene Expression and Apoptosis in Glioblastoma Cell Line. *Bioelectromagnetics*, 46(1). <https://doi.org/10.1002/bem.22543>

Zahlreiche experimentelle Studien haben gezeigt, dass hochfrequente Felder diverse biologische Reaktionen auslösen können, darunter Apoptose, Autophagie, DNA-Schäden, entzündliche Reaktionen, oxidativer Stress und veränderte Genexpression. Im Apoptosekontext wurde spezifisch nachgewiesen, dass Hochfrequenz Apoptose-Marker beeinflussen kann, darunter pro-apoptotische Proteine wie BAX und CASP sowie anti-apoptotische Marker wie BCL-2. Obwohl epidemiologische Studien auf ein erhöhtes Krebsrisiko hinweisen, ist die experimentelle Forschung zu Auswirkungen und Mechanismen von hochfrequenten Feldern nach wie vor durch Kontroversen und begrenzte Erkenntnisse gekennzeichnet. Dies unterstreicht die dringende Notwendigkeit neuer, umfassender Experimente. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, die Auswirkungen von 2100-MHz-Hochfrequenz auf Zellviabilität, Apoptose und Genexpression in der menschlichen Glioblastom-Zelllinie U118-MG *in vitro* zu untersuchen. Die U118-MG-Zelllinie wurde gewählt, da sie aus einem menschlichen Gliazellkrebs stammt und epidemiologische Studien auf ein erhöhtes Gliomrisiko durch Mobilfunknutzung hinweisen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Befeldung der U118-MG-Zelllinie erfolgte mit 2100 MHz und 60 V/m, resultierend in einem durchschnittlichen SAR-Wert von $1.12 \pm 0,18$ W/kg für 1 g. Die Zellen wurden 1 h, 24 h oder 48 h befeldet, als Kontrollen wurden scheinbefeldete Zellen verwendet. Der verwendete SAR-Wert entspricht geltenden Sicherheitslinien und bleibt unterhalb empfohlener Grenzwerte. Außerdem wurde eine Echtzeit-Temperaturüberwachung durchgeführt, die keinerlei Temperaturschwankungen verzeichnete. Die Befeldungsapparatur war gegenüber externen elektromagnetischen Feldern abgeschirmt. Befeldungsapparatur und Dosimetrie wurden penibel charakterisiert, um konsistente und kontrollierte Befeldungsbedingungen in einer stabilen und reproduzierbaren Umgebung zu gewährleisten. Auf biologischer Ebene wurde die Zellviabilität, Zellapoptose (Annexin-V-Durchflusszytometrie) sowie die Genexpression der Apoptosemarker CASP3, CASP8, CASP9, BCL-2 und BAX (quantitative PCR) untersucht. Die Expression der Transkriptionsfaktoren CYCD1, C-MYC sowie c-FOS, welche mit Zellteilung und Apoptose assoziiert sind, wurden ebenfalls mittels quantitativer PCR überprüft.

Ergebnisse:

Die Zellviabilität war im Vergleich zu den scheinbefeldeten Kontrollen nach 1 h und 24 h unverändert. Nach 48 h Befeldungsdauer hingegen wurde eine statistisch signifikante Verminderung beobachtet. Damit übereinstimmend verhielt sich der Anteil apoptotischer Zellen. Nach 1 h und 24 h waren keine Veränderungen feststellbar, nach 48 h war die Rate apoptotischer Zellen im Vergleich zu den scheinbefeldeten-Kontrollen signifikant gesteigert. Die relative Genexpression von CASP3, CASP8 und CASP9 war nach 24 h und 48 h signifikant erhöht, das BAX/BCL-2-Verhältnis hingegen war erst nach 48 h Befeldung statistisch signifikant gesteigert. Die relative Genexpression der Transkriptionsfaktoren war hingegen lediglich nach 1 h Befeldung erhöht und nach 24 h sowie 48 h nicht signifikant verändert.

Schlussfolgerungen:

Die präsentierten Daten erweisen sich als durchgehend konsistent. Die 2100-MHz-Befeldung mit einer Intensität unterhalb empfohlener Grenzwerte führt nach 48 h zu einer verringerten Zellviabilität und gesteigerter Apoptose. Das BAX/BCL-2-mRNA-Verhältnis, eine Art „Zelltod-Schalter“ und damit entscheidender Regulator zellulärer Apoptose, zeigt im Vergleich zur scheinbefeldeten Kontrolle einen 4,5-fachen Anstieg. Die Autoren vermuten, dass bei kürzeren Befeldungsdauern die Zellen Stressreaktionswege aktivieren (gesteigerte CASP3, -8, -9), doch dieser Veränderungen der Genexpression nicht zu sofortiger Apoptose führen. Eine längere Befeldung jedoch erschöpft das Potenzial der Zelle mit dem Hochfrequenz-induziertem Stress umzugehen und führt zu signifikanten apoptotischen Veränderungen. Die Autoren mutmaßen, dass dies mit einer Überschreitung der Verdopplungszeit der U118-MG-Zellen zusammenhängen könnte. Der vorübergehende Anstieg der Transkriptionsfaktor-Expression spreche für eine transiente Hochfrequenzwirkung auf die Zellen, welche tiefgreifender untersucht werden müsse, da hierüber Einblicke in Kompensationsmechanismen der Zellen gewonnen werden könnten. (RH)

„Nach 48 h war die Rate apoptotischer Zellen signifikant gesteigert.“



Mobilfunkstrahlung verlangsamt Entwicklung im Mutterleib

Verzögertes Wachstum bei männlichen Jungtieren, die einer 900-MHz-Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt waren

Bodin R, Robidel F, Rodrigues S, Lecomte A, Villégier A-S. (2024). Delayed Growth in Immature Male Rats Exposed to 900 MHz Radio-frequency. *Applied Sciences*, 14(16), 6978. <https://doi.org/10.3390/app14166978>

Die zweite Generation Mobilfunk (2G) wurde mit dem GSM-Netz (900 MHz) in den 1990er Jahren eingeführt. Bis zum heutigen Tage ist die Exposition gegenüber 900-MHz-Mobilfunk im öffentlichen und beruflichen Umfeld allgegenwärtig. Es wurde gezeigt, dass das 2G-Netz nach wie vor der Hauptverursacher für das Eindringen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in das Gehirn bei Telefongesprächen ist. Die Grenzwerte liegen bei 0,08 W/kg für die allgemeine Öffentlichkeit (Pu) bzw. 0,4 W/kg für eine berufliche Belastung (Oc). Sowohl in der allgemeinen Öffentlichkeit wie auch im beruflichen Umfeld gibt es besonders gefährdete Personen, wie z.B. schwangere Frauen, unreife (Föten, Neugeborene, Kinder), kranke oder alternde Personen. Es ist bekannt, dass die Schädel von Föten und Neugeborenen weniger gut vor dem Eindringen von Hochfrequenz schützen, als der von Erwachsenen. Man kann also davon ausgehen, dass der physiologische und entwicklungsrelevante Schutz durch ICNIRP-Grenzwerte bei gefährdeten Bevölkerungsgruppen geringer ausfällt. Die vorliegende Studie möchte am Rattenmodell untersuchen, wie sich eine Strahlenbelastung in Höhe der öffentlichen bzw. beruflichen Grenzwerte auf Wachstum und Entwicklung auswirken und inwiefern sich diese Auswirkungen unterscheiden.

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 25 trächtige Ratten in drei Gruppen unterteilt: schein-befeldet (n = 9), PuM (n = 8; Ganzkörper-SAR 0,08 W/kg) und OcM (n = 8; Ganzkörper-SAR 0,4 W/kg). Die Tiere und ihre Nachkommen wurden ab Tag 8 nach Befruchtung (prä-natal) bis Tag 17 nach Geburt (postnatal) zwischen 11:00 und 19:00 mit 900 MHz befeldet. Die Feldstärken betragen 30,2 V/m (PuM) bzw. 67,5 V/m (OcM). Bei Geburt wurden die Jungtiere auf 3 männliche und drei weibliche pro Wurf reduziert. Jeweils ein Jungtier jeden Geschlechts wurde an Tag 8, 17 und 43 nach Geburt geopfert. Zunächst wurden allgemeine Wurfparameter (Größe der Würfe, Geschlechterverhältnis, Anzahl Totgeburten) analysiert. Außerdem wurden Gewicht und Größe der Jungtiere von Geburt bis Tag 43 nach Entbindung dokumentiert. Jedes Jungtier wurde täglich untersucht um die Zeitpunkte des Augenöffnens, Schneidezahndurchbruchs und Lösens der Ohrmuschel zu bestimmen. Diese Ereignisse gelten als Entwicklungsmarker.

Ergebnisse:

Die Studie zeigt keine Hinweise auf eine schädliche Auswirkung der perinatalen Befeldung in Hinsicht auf allgemeine Wurfparameter (Größe der Würfe, Geschlechterverhältnis, Anzahl Totgeburten) oder auf Gewicht und Größe der Jungtiere bei Geburt. Bei den OcM-befeldeten männlichen Jungtieren (0,4 W/kg) zeigte sich jedoch eine statistisch signifikante Verringerung des Gewichts ab Tag 6, welche bis Ende des Experiments (Tag 43) bestehen blieb. Auch waren die männlichen Tiere beider befeldeter Gruppe kleiner, jedoch waren die Daten knapp nicht statistisch signifikant (p = 0,0557). Die Auswirkungen der 900-MHz-Befeldung auf die Marker der Frühentwicklung hingegen waren statistisch signifikant. Bei beiden Feldstärken und beiden Geschlechtern erfolgte eine verfrühte Augenöffnung und Ablösung der Ohrmuscheln. Der Schneidezahndurchbruch war lediglich bei den Männchen der PuM-Gruppe statistisch signifikant verfrüht.

Schlussfolgerungen:

Die vorgestellte Publikation war die erste, welche die Auswirkungen von Grenzwerten für den öffentlichen Raum und den Arbeitsplatz anhand der physischen Entwicklung von Ratten verglich. Die Ergebnisse deuten auf körperliche Entwicklungsstörungen hin (verfrühtes Ablösen der Ohren bzw. Öffnen der Augen, vermindertes Gewicht), wobei die Grenzwerte am Arbeitsplatz einen stärkeren Phänotyp verursachten. Der beobachtete Phänotyp könnte auf eine Stoffwechselstörung mit erhöhtem Energiebedarf hindeuten. Die Autoren weisen darauf hin, dass vergleichbare Entwicklungsstörungen bei neugeborenen Ratten und Mäusen beobachtet wurden, deren Serotonin- und Dopamin-Stoffwechsel chemisch gestört wurde (Abu-Taweel, 2019; Cai et al., 2023). Die neurotoxische Wirkung der Chemikalien beruhe u.a. auf oxidativem Stress (Huang et al., 2008). (RH)

„Bei beiden Feldstärken und beiden Geschlechtern erfolgte eine verfrühte Augenöffnung und Ablösung der Ohrmuscheln.“



5G-Mobilfunk kann Hodenschädigung verursachen

Auswirkungen von 5-G-Mobilfunkbefeldung auf den Stress des endoplasmatischen Retikulums des Hodengewebes und die schützende Rolle des Coenzym Q10

Yilmaz H, Tümkaya L, Mercantepe T, Yılmaz A, Gül F, Suzan ZT. (2025). Effects of 5 G mobile phone network electromagnetic field exposure on testicular endoplasmic reticulum stress and the protective role of coenzyme Q10. Archives of Medical Research, 56(4), 103157. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2024.103157>

Die Tatsache, dass der 5G-Mobilfunkstandard ohne umfangreiche Überprüfung gesundheitsschädlicher Wirkungen eingeführt wurde, ruft Bedenken, sowohl bei Wissenschaftlern wie auch in der breiten Bevölkerung hervor. Das Fehlen einer standardisierten Methodik zur Bewertung der Hochfrequenzbelastung durch 5G-Mobiltelefone und Basisstationen verschärft diese Bedenken. Darüber hinaus erfordern 5G-Mobilfunknetze eine exponentiell höhere Anzahl an Basisstationen (10- bis 100-fach), was die Notwendigkeit der Erforschung potenzieller gesundheitsschädlicher Wirkungen von 5G-Mobilfunk unterstreicht. Diese können u.a. oxidativen Stress und verstärkte Apoptose beinhalten. Coenzym Q10, ein wirkungsvolles Antioxidans, spielt wissenschaftlichen Publikationen zufolge eine aktive Rolle bei der Eindämmung von Apoptose, welche eng mit Stress des endoplasmatischen Retikulums (ER) verbunden ist. ER-Stress als Folge von oxidativem Stress, Apoptose und mitochondrialer Dysfunktion kann wiederum zu einer Funktionsstörung der Hoden führen. Bei ER-Stress steigt die Konzentration des Chaperon-Glukose-regulierten Proteins (GRP78) und des C/EBP-homologen Proteins (CHOP) an. Das Ziel der vorgestellten Studie war es die Auswirkungen von 5G-Mobilfunk auf ER-Stress im Hodengewebe biochemisch und histopathologisch zu untersuchen. Außerdem sollte eine mögliche schützende Rolle von Q10 analysiert werden.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an 3 – 4 Monate alten Sprague-Dawley Ratten durchgeführt. Diese wurden in 3 Gruppen (n = 8) unterteilt: Käfigkontrollen, 5G-Befeldung, 5G-Befeldung + 10 mg/kg Q10. Die Versuchstiere wurden mit 5,9 GHz 2h pro Tag mit einer elektrischen Feldstärke von 4 V/m (0,42 W/m²), resultierend in einem Ganzkörper-SAR-Wert von 0,0213 W/kg befeldet. Die Feldstärke wurde an unterschiedlichen Punkten des Befeldungskäfigs gemessen. Die Dauer des Experiments betrug 30 Tage. Die Wissenschaftler untersuchten oxidative Stressmarker biochemisch (TBARS, Gesamt-Thiol), ER-Stress-Marker immunohistochemisch (GRP78, CHOP) sowie das Hodengewebe histopatholo-

gisch. Die immunohistochemischen und histopathologischen Untersuchungen wurden semi-quantitativ bewertet. Der histopathologische Schädigungsgrad wurde anhand des „Testicular Histopathologic Damage Scoring“ (THDS) ermittelt. Dabei werden der Verlust spermatogener Zellen, Ödembereiche, entzündliche Prozesse und Gefäßverschlüsse berücksichtigt. Darüber hinaus wurden der Verlust an spermatogenen Zellen in den Hodenkanälchen anhand des Johnsen-Hoden-Score bewertet. Die semi-quantitative Analyse der immunohistochemischen Proben wurde doppelblindet durchgeführt und auch hier wurde ein IHC-Score immunopositiver Zellen ermittelt.

Ergebnisse:

Die Resultate der Autoren zeigten ein sehr konsistentes Bild. Alle untersuchten Endpunkte (s.o.) wiesen auf eine schädigende Wirkung der 5,9-GHz-Befeldung hin. Im Vergleich zu den Kontrollen wurden sowohl bei oxidativen Stressmarkern, als auch den histopathologischen und immunohistochemischen Scores statistisch signifikante gesundheitsschädigende Auswirkungen der 5G-Strahlung beobachtet. Im Einzelnen bedeutet dies durch die Befeldung hervorgerufene histopathologische Schädigungen (gesteigerte Ödembereiche, Gefäßverschlüsse, neutrophile Entzündungen der Samenkanälchen), erhöhte TBARS, vermindertes Gesamt-Thiol und erhöhte Anzahl an GRP78- und CHOP-positiven Zellen. In der Versuchsgruppe, die das Antioxidans Q10 verabreicht bekam, wurde die gesundheitsschädliche Wirkung des 5G-Mobilfunks, im Vergleich zur Gruppe, welche lediglich der Befeldung ausgesetzt war, statistisch signifikant vermindert.

Schlussfolgerungen:

Männliche Unfruchtbarkeit, die ein globales Gesundheitsproblem darstellt, kann in Zusammenhang mit homöostatischen ROS-Ungleichgewichten des Fortpflanzungssystems stehen. Eine übermäßige Produktion reaktiver Sauerstoffspezies kann zu ER-Stress führen, der wiederum oxidativen Stress verursachen kann. Dieser Zustand kann sich nachteilig auf Spermienqualität auswirken. Die Autoren verweisen auf das Potenzial von starken Antioxidantien wie Q10, um den Teufelskreis von ROS-ER-Stress, hervorgerufen durch Mobilfunk, zu unterbinden. (Diese Studie reiht sich ein die immer größer werdende Anzahl von Studien, welche einen Zusammenhang zwischen sub-thermischer Mobilfunk-Befeldung verschiedener Frequenzen und verminderter männlicher Fruchtbarkeit beschreiben. Dies wurde in verschiedenen Reviews ausführlich diskutiert (Yadav et al., 2021). (Yu et al., 2021). Selbst Verfechter der „lediglich thermische Wirkungs“-Tradition mussten mögliche schädliche Auswirkungen von Hochfrequenz-Befeldung auf die männliche Fruchtbarkeit zugeben (Cordelli et al., 2024). Die Auswirkungen von 5G-Mobilfunk auf die männliche Fruchtbarkeit sind hingegen noch nicht gut erforscht, wozu die vorgestellte Studie ihren Beitrag leistet, Anm. d. Red.) (RH)



Digitale Geräte und Migräne

Der Einfluss der Nutzung digitaler Geräte auf das Migräne-Risiko

He Z, Qiu F, Yang J, Zhao M (2024). The role of digital device use on the risk of migraine: a univariable and multivariable Mendelian randomization study. *Frontiers in Neurology*. 2024 Oct 30;15:1462414. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1462414>

Migräne ist eine weit verbreitete und schwächende neurologische Erkrankung, die durch wiederkehrende Kopfschmerzen gekennzeichnet ist, die häufig von Übelkeit, Erbrechen sowie Licht- und Geräuschempfindlichkeit begleitet werden. Sie betrifft weltweit über 100 Millionen Menschen, vor allem unter 50 Jahren, und ist in allen Altersgruppen die zweithäufigste Ursache für ein Leben mit Behinderungen. Die Ein-Jahres-Prävalenzraten für Migräne schwanken in den westlichen Ländern zwischen 4 % und 9 % bei Männern und zwischen 11 % und 25 % bei Frauen. Angesichts der schwerwiegenden physischen und psychischen Auswirkungen auf die Patienten ist die Vorbeugung von Migräneanfällen von entscheidender Bedeutung. Frühere Studien haben mehrere Risikofaktoren ermittelt, darunter Schlafverhalten, Ernährungsgewohnheiten, körperliche Aktivität und Medikamenteneinnahme, die zur Migräne beitragen. Die digitale Abhängigkeit, die eng mit der genetischen Veranlagung zusammenhängt, beeinträchtigt die Gehirnfunktion und -struktur erheblich. Eine längere Exposition gegenüber blauem Licht und elektromagnetischer Strahlung kann zu neurologischen Störungen wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen, negativen Emotionen, Gedächtnisverlust und Aufmerksamkeitsdefiziten führen. Beobachtungsstudien haben ergeben, dass die häufige Nutzung elektronischer Geräte mit einem erhöhten Migräne-Risiko verbunden ist, insbesondere bei Studenten. Herkömmliche Beobachtungsstudien sind jedoch anfällig für Störfaktoren, die die Zuverlässigkeit der Feststellung kausaler Zusammenhänge einschränken, sodass es schwierig ist, einen eindeutigen kausalen Zusammenhang zwischen der Nutzung digitaler Geräte und dem Migräne-Risiko herzustellen.

Die Mendelsche Randomisierung (MR) ist eine Methode, die die gemessene Variation in Genen nutzt, um die kausale Wirkung einer Exposition auf ein Ergebnis zu untersuchen. Bei der Analyse anhand zusammengefasster Daten werden häufig Daten aus (mehreren) genomweiten Assoziationsstudien (GWAS) verwendet. Eine GWAS ist eine Beobachtungsstudie eines genomweiten Satzes genetischer Varianten bei verschiedenen Personen, um festzustellen, ob eine Variante mit einem Merkmal assoziiert ist. In diesem Fall wird die Assoziation zwischen genetischen Varianten und der Exposition aus den zusammenfassenden Ergebnissen einer genomweiten Assoziationsstudie für die Exposition entnommen. Die Assoziation zwischen denselben genetischen Varianten und dem Ergebnis wird dann

aus den zusammenfassenden Ergebnissen einer genomweiten Assoziationsstudie für das Ergebnis entnommen. Diese beiden Sätze von zusammenfassenden Ergebnissen werden dann verwendet, um die MR-Schätzung zu erhalten. Genetische Varianten, wie z. B. Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs), werden als Stellvertreter für die betrachtete Exposition (oder das Ergebnis) verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass diese genetischen Varianten nach dem Zufallsprinzip verteilt werden und von Störfaktoren unbeeinflusst sind. Durch die Verwendung genetischer Varianten als Instrumente kann die MR dazu beitragen, kausale Beziehungen zwischen Expositionen und Ergebnissen abzuleiten, ohne dass herkömmliche randomisierte kontrollierte Studien erforderlich sind. In der vorliegenden Studie wird der kausale Zusammenhang zwischen der Nutzung digitaler Geräte und dem Migräne-Risiko mithilfe der Mendelschen Randomisierung untersucht.

Studiendesign und Durchführung:

Die GWAS-Daten zu vier Arten der Nutzung digitaler Geräte, einschließlich der Nutzung von Mobiltelefonen, Fernsehen, Computern und Computerspielen, wurden von der UK Biobank bezogen. Dabei handelt es sich um eine groß angelegte Datenbank mit genetischen und gesundheitlichen Daten von einer halben Million britischer Teilnehmer. Die Nutzung digitaler Geräte basierte auf Selbstauskünften. Die Nutzung von Mobiltelefonen wurde definiert als die Häufigkeit, mit der in den letzten drei Monaten pro Woche Anrufe mit dem Mobiltelefon getätigt oder entgegengenommen wurden ($n = 386.626$ Teilnehmer). Die Fernsehnutzung wurde anhand der täglichen Sehdauer gemessen ($n = 437.887$), die Computernutzung anhand der täglichen Nutzungsdauer ($n = 360.895$), und die Computerspielgewohnheiten wurden anhand der Spielpraktiken bewertet ($n = 462.433$).

Die GWAS-Daten zur Migräne wurden aus zwei großen Datensätzen gewonnen. FinnGen war die primäre Entdeckungskohorte, ein öffentlich-privates Partnerschaftsprojekt in Finnland, das genetische Daten mit digitalen Gesundheitsdaten aus nationalen Gesundheitsregistern kombiniert. Sie umfasst 20.908 Fälle von Migräne insgesamt, 8.970 Fälle von Migräne mit Aura (MA) und 7.593 Fälle ohne Aura (MO). Die Replikationskohorte des International Headache Genetics Consortium (IHGC) umfasst 48.975 europäische Fälle von Migräne insgesamt. Die MA- und MO-Fälle umfassten 6.332 bzw. 8.348 europäische Fälle.

Zur Auswahl robuster instrumenteller Variablen wurden nur Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs) mit einem p -Wert $< 5 \times 10^{-8}$ und Minor-Allel-Häufigkeiten $> 0,01$ ausgewählt. Die SNP-Unabhängigkeit wurde mithilfe des europäischen Referenzpanels des 1.000-Genome-Projekts sichergestellt, wobei das Kriterium des Kopplungsungleichgewichts von $r^2 < 0,001$ innerhalb eines 10-MB-Fensters angewendet wurde.

Die Effekte alle wurden zwischen den GWAS-Datensätzen für die Nutzung digitaler Geräte und Migräne abgeglichen. Der Ansatz der univariablen Mendelschen Randomisierung (UVMR)

wurde durchgeführt, um die potenzielle Kausalität zwischen der Nutzung digitaler Geräte und dem Migräne-Risiko mit verschiedenen statistischen Methoden zu untersuchen. Eine Metaanalyse wurde durchgeführt, um die aus den Entdeckungs- und Replikationsdatensätzen abgeleiteten Kausalschätzungen zu kombinieren und anschließend den kausalen Zusammenhang zwischen der Nutzung digitaler Geräte und Migräne zu validieren. Anschließend wurde eine multivariable MR-Analyse durchgeführt, die um relevante Störfaktoren (Schlaganfall, körperliche Aktivität, Bluthochdruck, Schlaflosigkeit, klinische Depression, Alkoholkonsum, Rauchen, Body-Mass-Index) bereinigt wurde.

Ergebnisse:

9 SNPs (Einzelnukleotid-Polymorphismen) wurden eindeutig mit der Mobiltelefonnutzung in Verbindung gebracht (entweder positiv oder negativ). Die meisten dieser SNPs sind im Moment von unbekannter Funktion. Bei 3 SNPs hingegen sind die Gene und ihre Funktion bekannt. PHLPP2 ist eine Phosphatase, die an der Regulierung der Akt- und PKC-Signalübertragung beteiligt ist. ARPP21 reguliert die Dopaminwirkung in den Basalganglien. FOXP2 scheint an einer Vielzahl von biologischen Signalwegen und -kaskaden beteiligt zu sein, die letztlich die Sprachentwicklung beeinflussen können. 89 SNPs wurden mit dem Fernsehkonsum in Verbindung gebracht.

Die Schätzungen der UVMR auf der Grundlage der FinnGen-Kohorte ergaben, dass die genetisch vorhergesagte Nutzung von Mobiltelefonen mit einem erhöhten Risiko für Migräne insgesamt (OR = 2,39) und für MO (OR = 2,25) verbunden war. In ähnlicher Weise wurde Fernsehkonsum positiv mit einem erhöhten Risiko für Migräne insgesamt (OR = 1,63) und MO (OR = 2,10) in Verbindung gebracht, aber keine der beiden Aktivitäten war signifikant mit MA assoziiert. Negative Assoziationen wurden zwischen Computernutzung (OR = 0,67) und dem Spielen von Computerspielen (OR = 0,41) mit MO beobachtet, obwohl keine von beiden signifikant mit der gesamten Migräne oder MA assoziiert war.

Die Schätzungen aus der Meta-Analyse von zwei separaten Datensätzen (FinnGen und IHGC) bestätigten einen signifikanten kausalen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Migräne insgesamt (OR = 1,58) und einen suggestiven Hinweis für MO (OR = 1,73). Fernsehkonsum war signifikant mit Migräne insgesamt (OR = 1,63) und MO (OR = 1,92) verbunden. Es wurden keine kausalen Zusammenhänge zwischen der Computernutzung, dem Spielen von Computerspielen und irgendwelchen Migräne-Subtypen gefunden.

Die multivariable MR-Analyse, bereinigt um relevante Störfaktoren, bestätigte, dass die Nutzung von Mobiltelefonen mit einem erhöhten Migräne-Risiko (OR = 1,40) und MO (OR = 1,88) verbunden war. In ähnlicher Weise erhöhte Fernsehen das Risiko für Migräne (OR = 2,01) und MO (OR = 3,56).

Schlussfolgerung:

Frühere Beobachtungsstudien haben auf die nachteiligen Auswirkungen einer übermäßigen Nutzung elektronischer Geräte auf die Migräne hingewiesen. In Bezug auf die Nutzung von Mobiltelefonen ergab eine Meta-Analyse, die die Ergebnisse von 30 Kohorten mit verschiedenen Ethnien und Bevölkerungsgruppen im Alter von 9–63 Jahren zusammenfasste, eine positive Korrelation zwischen der wöchentlichen Nutzung von Mobiltelefonen und dem Migräne-Risiko, was darauf hindeutet, dass die Strahlung von Mobiltelefonen ein Risikofaktor für Migräne sein könnte (Farashi 2022). Der Zusammenhang zwischen der Nutzung elektronischer Geräte und Migräne lässt sich durch die anhaltende Exposition gegenüber blauem Licht (Fernsehen) und elektromagnetischer Strahlung (Mobiltelefon) erklären. In einer klinischen Studie wurde festgestellt, dass Migränapatienten im Vergleich zu gesunden Personen eine signifikante und anhaltende Verringerung der Schwellenwerte für die Schmerzwahrnehmung nach Stimulation mit intensivem Licht aufwiesen (Kowacs 2001). Dieses Phänomen kann auf die Stimulation der retinalen Ganglienzellen durch blaues Licht zurückgeführt werden, die in der Folge die Leitung der trigeminalen nozizeptiven Bahnen beeinflusst. Dies legt nahe, dass visuelle Reize Migräne auslösen und auch den Schlaf stören können.

Außerdem ist das Nervensystem sehr empfindlich gegenüber elektromagnetischer Strahlung (EMR). Eine längere Exposition gegenüber hochfrequenter EMR kann zu Störungen des Neurotransmitter-Stoffwechsels und zu oxidativem Stress in den Gehirnzellen führen, die beide mit der Entstehung von Migräne in Verbindung gebracht werden. Alles in allem sind die Mechanismen, die den Auswirkungen elektronischer Geräte auf die Migräne zugrunde liegen, recht komplex und vielschichtig und bedürfen weiterer Forschung.

Anmerkung der Red.: In dieser Studie wurden in der finnischen Kohorte wesentlich stärkere Auswirkungen der Mobiltelefonnutzung (OR = 2,39) auf das Auftreten von Migräne festgestellt als in der gesamteuropäischen Datengruppe (OR = 1,32). Diese höhere Empfindlichkeit der nördlichen Bevölkerungen ist auch aus der Literatur über Elektrohypersensibilität und andere Erkrankungen bekannt. Andererseits war der Zusammenhang zwischen Migräne und Fernsehkonsum in beiden Datensätzen genau gleich (OR = 1,63). (AT)

„Eine längere Exposition gegenüber hochfrequenter EMR kann zu Störungen des Neurotransmitter-Stoffwechsels und zu oxidativem Stress in den Gehirnzellen führen, die beide mit der Entstehung von Migräne in Verbindung gebracht werden.“



Mobiltelefone und Kopfschmerzen

Elektromagnetische Strahlung von Mobiltelefonen und das Risiko von Kopfschmerzen

Farashi S, Bashirian S, Khazaei S, Khazaei M, Farhadinasab A (2022). Mobile phone electromagnetic radiation and the risk of headache: a systematic review and meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2022 Sep;95(7):1587-601. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01835-x>

Kopfschmerzen, die für viele Menschen ein häufiges Problem darstellen (10-20 % der Jugendlichen), sind ein Symptom, das durch die Nutzung von Mobiltelefonen ausgelöst werden kann. Die Handynutzung kann für einige Arten von Kopfschmerzen, Schwindel, Nacken- und Schulterschmerzen, Stress und Belastung der Organe sowie Schlafstörungen verantwortlich sein. Es gibt einige Hinweise auf einen kausalen Zusammenhang zwischen Kopfschmerzen und Handynutzung. Allerdings finden sich in der Literatur widersprüchliche Berichte. In einigen Studien wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt, während in Studien mit kontrollierter Expositionsdauer ein nicht signifikanter Zusammenhang berichtet wurde. In diesem Zusammenhang könnte eine systematische Übersichtsarbeit dazu beitragen, die Widersprüche über die Wirkung elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen auf Kopfschmerzen zu klären. Eine frühere systematische Übersichtsarbeit (Wong et al. 2017) konzentrierte sich auf den Zusammenhang zwischen der Gesprächsdauer mit Mobiltelefonen und Kopfschmerzen und fand einen kausalen Zusammenhang zwischen Gesprächsdauer und Kopfschmerzen. Die aktuelle systematische Übersichtsarbeit enthielt mehr Studien, und neben der Dauer der EMF-Exposition durch Mobiltelefone (hauptsächlich die Gesprächsdauer) wurde auch die Wirkung des Alters als weiterer Faktor berücksichtigt.

Studiendesign und Durchführung:

Für diese systematische Überprüfung wurden die Leitlinien der „Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses“ (PRISMA) verwendet. Die Suche nach Studien erfolgte über die Datenbanken Web of Science, PubMed und Scopus. Die Suche beschränkte sich auf den Zeitraum von 1990 bis Februar 2021, da die Nutzung von Mobiltelefonen vor 1990 nahezu inexistent war. Das PICO-Modell (Population, Intervention, Vergleich und Ergebnis) wurde verwendet, um relevante Studien zu finden. Es wurden nur Studien mit digitalen (im Gegensatz zu analogen) Mobiltelefonen berücksichtigt. Alle Subtypen von Kopfschmerzen wurden in der aktuellen Studie berücksichtigt. Es gab keine Altersbeschränkung für die Teilnehmer und auch keine Beschränkung für die Dauer der EMF-Exposition, da die Expositionsdauer und das Alter auch als zwei mög-

liche Moderatorvariablen für die möglichen Effekte betrachtet wurden. Die Qualität der Studien wurde nach dem „National Institutes of Health (NIH) quality assessment tool for observational cohort and cross-sectional studies“ bewertet. Die bereinigte Odds Ratio (OR) wurde auf der Grundlage der berichteten Ergebnisse (pro Studie) extrahiert oder berechnet.

Ergebnisse:

33 infrage kommende Studien wurden für weitere Analysen ausgewählt. Einige der Studien fanden einen statistisch signifikanten Effekt der EMF-Exposition durch Mobilfunkgeräte oder Basisstationen auf Kopfschmerzen ($n = 25$). Die Gesamtzahl der Teilnehmer der eingeschlossenen Studien betrug 109.385 (Frauen $\approx 73,24\%$). Einige dieser Studien enthielten mehr als eine Effektgröße für verschiedene Expositionsbedingungen. In diesem Zusammenhang wurden insgesamt 58 Effektgrößenwerte für die Wirkung von EMF, die von Mobiltelefonen oder Basisstationen ausgestrahlt werden, auf verschiedene Arten von Kopfschmerzen ermittelt. 30 Studien hatten ausreichende Informationen für die Berechnung der OR und wurden für die Meta-Analyse ausgewählt.

Von den 33 eingeschlossenen Studien waren 21 % von schlechter Qualität (Qualitätsbewertung < 7), 70 % von mittlerer Qualität ($7 \leq$ Qualitätsbewertung < 10) und 9 % von hoher Qualität (Qualitätsbewertung ≥ 10). Wenn alle Studien mit unterschiedlichen Altersspannen, unterschiedlichen Expositionsdauern und unterschiedlichen EMF-erzeugenden Geräten (d.h. Mobiltelefone und Basisstationen) berücksichtigt wurden, betrug der gepoolte Effekt OR = 1,30 (95 % CI 1,21-1,39), was auf einen signifikanten Effekt von EMF auf Kopfschmerzen hinweist. Allerdings war die Heterogenität zwischen den Studien relativ groß ($I^2 = 72,2\%$, $p < 0,01$). Um die Quelle der Heterogenität zwischen den Studien zu untersuchen, wurden die Altersspanne der Teilnehmer und die Dauer der Exposition als zwei mögliche Einflüsse überprüft.

Für die Subgruppenanalyse mit dem Alter der Teilnehmer als moderierende Variable wurden die Studien in drei Kategorien eingeteilt, d.h. Studien, in denen das Alter der Teilnehmer gleich oder niedriger als 18 Jahre war, Studien mit Teilnehmern, die älter als 18 Jahre waren, und Studien mit Ergebnissen ohne Berücksichtigung des Alters. Für die Subgruppenanalyse, bei der die Expositionsdauer als Moderatorvariable berücksichtigt wurde, wurden die Studien in zwei Kategorien unterteilt, d.h. Exposition gegenüber EMF von Mobiltelefonen für eine Dauer von mehr oder weniger als 100 Minuten/Woche. Gemäß den Effektgrößen für diese Gruppen und der Varianzanalyse für die Effekte gab es keinen Effekt für das Alter oder die Interaktion zwischen Expositionsdauer und Alter, jedoch wurde ein signifikanter Effekt für die Expositionsdauer gefunden.

Wenn das Alter der Teilnehmer auf ≤ 18 Jahre begrenzt wurde, betrug die gepoolte Effektgröße OR = 1,29 (95 % CI 1,20-1,37), wobei eine mäßige Heterogenität zwischen den Studien festge-

stellt wurde (I^2 : 45,2 %, $p = 0,004$). Für die Gruppe der Erwachsenen (Alter > 18 Jahre) wurde ein größerer Effekt beobachtet (OR = 1,33, 95 % CI 1,14–1,53), während die Heterogenität zwischen den Studien statistisch nicht signifikant war (I^2 : 2,30 %, $p = 0,408$).

Wenn die Probanden 100 Minuten pro Woche oder weniger EMF von Mobiltelefonen ausgesetzt waren, betrug der gepoolte Effekt auf Kopfschmerzen OR = 1,23 (95 % CI 1,12–1,34), wobei eine signifikante moderate Heterogenität zwischen den Studien festgestellt wurde (I^2 : 63,7 %, $P < 0,001$). Eine stärkere Wirkung wurde für Personen gefunden, die den EMF von Mobiltelefonen für eine Dauer von mehr als 100 Minuten pro Woche ausgesetzt waren (OR = 1,41, 95 % CI 1,22–1,61), wobei eine signifikante Heterogenität zwischen den Studien festgestellt wurde (I^2 : 77,4 %, $P = 0,00$).

Bei Personen, die EMF von Mobilfunk-Basisstationen ausgesetzt waren, betrug der gepoolte Effekt auf Kopfschmerzen OR = 1,14 (95 % CI 0,75–1,52), was auf einen geringeren und statistisch nicht signifikanten Effekt im Vergleich zu tatsächlichen Mobiltelefonen hinweist.

Schlussfolgerung:

Der gepoolte Effekt der Mobiltelefonnutzung auf Kopfschmerzen betrug 1,30 (95 % CI 1,21–1,39) und deutet auf einen signifikanten Effekt der Mobiltelefonnutzung auf die Prävalenz von Kopfschmerzen hin. Dies steht im Einklang mit den neueren Ergebnissen einer Mendelschen Randomisierungsstudie (He 2024, ebenfalls in dieser Ausgabe besprochen), die eine OR von 1,40 (95 % CI 1,03–1,90) für die Migräneprävalenz ergab. Für beide Altersspannen (d.h. ≤ 18 und > 18 Jahre) war der gepoolte Effekt der EMF-Exposition auf das Kopfschmerzrisiko bei kürzerer EMF-Expositionsdauer geringer. Das Kopfschmerzrisiko ist für die Gruppe mit höherer Exposition (OR 1,41 für > 100 min/Woche) etwa doppelt so hoch wie für die Gruppe mit geringerer Exposition (OR 1,21 für ≤ 100 min/Woche). Eine Erhöhung des Kopfschmerzrisikos durch eine Verlängerung der Expositionsdauer wurde sowohl bei jüngeren als auch bei älteren Teilnehmern beobachtet. Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer früheren Meta-Analyse mit sieben Studien, die ebenfalls über ein erhöhtes Kopfschmerzrisiko mit zunehmender Expositionsdauer berichteten. Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung deuten auch darauf hin, dass Nutzer von Mobiltelefonen ein höheres Risiko für Kopfschmerzen haben als Personen, die in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen leben. Anmerkung der Redaktion: Da die Erfassung korrekter Expositionsdaten in der Nähe von Basisstationen noch schwieriger ist, sollte diese Frage in künftigen Untersuchungen mit verbesserter Dosimetrie neu bewertet werden. (AT)



Babyfon stört Schlaf

Beeinträchtigt Hochfrequenz den Schlaf? Eine doppelt verblindete, randomisierte, placebokontrollierte Crossover-Pilotstudie

Bijlsma N, Conduit R, Kennedy G, Cohen M. (2024). Does radiofrequency radiation impact sleep? A double-blind, randomised, placebo-controlled, crossover pilot study. *Frontiers in Public Health*, 12(October), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1481537>

Schlaf ist eine entscheidende biologische Funktion und Schlafstörungen stellen einen Hauptrisikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselstörungen und vorzeitige Todesfälle dar. Chronische Schlafstörungen beeinträchtigen neurologische Funktionen wie Erinnerungsfunktion, Konzentrationsfähigkeit und weitere höhere kognitive Prozesse. Außerdem stehen sie in engem Zusammenhang mit der Entstehung von Alzheimer. Bei Kindern und jungen Erwachsenen sind Schlafstörungen mit psychischen Erkrankungen, Depressionen sowie schlechten schulischen Leistungen assoziiert. In den letzten zwei Jahrzehnten ist die Verbreitung von Schlafstörungen signifikant gestiegen. So sind beispielsweise derzeit 4 von 10 Australiern von Schlafstörungen betroffen, was erhebliche Auswirkungen auf soziale, finanzielle und gesundheitsbezogene Belastungen verursacht. Der Anstieg von Schlafstörungen korreliert mit der milliardenfachen weltweiten Verbreitung von Mobiltelefonen. Die Erforschung des Zusammenhanges zwischen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Schlafstörungen gestaltet sich jedoch schwierig. Epidemiologische Umfragen sind anfällig für Verzerrungen (respondent bias) und erfassen selten klinisch relevante Endpunkte. Experimentelle Studien sollten nach Möglichkeit nicht in Schlaflaboren durchgeführt werden, da die ungewohnte Umgebung an sich den Schlaf beeinträchtigt, insbesondere über eine Nacht. Auch sollten die elektromagnetischen Felder (EMF) durch reale Quellen und nicht synthetisch erzeugt werden, da die Signale sehr variabel sind und ein ständiger Wechsel von Intensität und Wellenformen stattfindet, wodurch sie biologisch aktiver werden. Das Ziel der hier präsentierten Studie war es die Auswirkungen von Hochfrequenzfeldern in einer realen Umgebung (handelsübliches Babyfon im eigenen Schlafzimmer) auf klinisch relevante Schlafparameter von gesunden Erwachsenen zu untersuchen.

Studiendesign und Durchführung:

Bei dieser Pilotstudie handelt es sich um eine vierwöchige, randomisierte doppelt verblindete Crossover-Studie mit 12 gesunden Erwachsenen (3 Männer, 9 Frauen). Nach einer einwöchigen Eingewöhnungsphase wurden die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip ausgewählt, um entweder einem eingeschalteten

oder ausgeschalteten (Scheinbefeldung) Babyfon für 7 Nächte ausgesetzt zu werden. Nach einer einwöchigen Ausschleichung, wurde bei den bislang scheinbefeldeten Probanden das Babyfon eingeschaltet und umgekehrt. Das genutzte Babyfon besaß eine Sendeleistung von 15 dBm und verwendete einen Frequenzbereich von 2,4 bis 2,4835 GHz mit Frequenzmodulation zur Vermeidung von Interferenzen. Monitor- und Kameraeinheit wurden, je nach Aufteilung des Schlafzimmers, innerhalb eines Abstandes von 2 m vom Kopfende der Probanden platziert. Die Dosimetrie ergab Feldstärken zwischen 2,2 und 7 mW/m², was deutlich unter den ICNIRP Grenzwerten für Fernfelder von 10 W/m² liegt. Durch Messungen wurde garantiert, dass das elektromagnetische Hintergrundrauschen unterhalb von 0,1 µT für Magnetfelder bzw. 0,02 mW/m² für hochfrequente EMF lag. Um die subjektive Schlafqualität zu beurteilen wurde die „Pittsburgh Insomnia Rating Scale“ (PIRS-20) verwendet. Objektive Schlafmessungen wurden mittels tragbaren Schlafmonitoren (Polysomnographie, PSG) bzw. Handgelenk-Aktigraphie in Kombination mit einem Schlaftagebuch durchgeführt. Außerdem wurde die Herzfrequenzvariabilität (HRV) gemessen.

Ergebnisse:

Die PIRS-20 ergab eine statistisch signifikante Verschlechterung der Schlafqualität der befeldeten Probanden im Vergleich zur Placebo-Exposition. Drei Teilnehmer (27,3 %) lagen oberhalb des Grenzwertes von 20 für das Risiko einer klinischen Schlafstörung. Auch das EEG wies eine statistisch signifikante Veränderung der befeldeten Probanden im Vergleich zu den scheinbefeldeten auf. Die EEG-Leistungsdichte der höheren Frequenzen (Theta-, Beta- und Gammabänder) nahm während des NREM-Schlafs (Non-Rapid-Eye-Movement) signifikant zu. Während des REM-Schlafs wurden keine statistisch signifikanten Veränderungen beobachtet. Bei der HRV und Aktigraphie wurden ebenfalls keine Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen festgestellt. Aufgrund technischer Probleme fiel die Aktigraphie bei 4 Probanden (n = 8) und die PSG bei 2 Probanden (n = 10) aus. Da ein Proband in der vierten Woche Erkältungssymptome zeigte, wurden dieser bei den PIRS-20-Daten nicht berücksichtigt (n = 11).

Schlussfolgerungen:

Trotz der geringen Probandenzahl wurden statistisch signifikante Daten erzeugt, die sowohl auf eine subjektive als auch eine objektive Verschlechterung der Schlafqualität bis hin zu klinischen Schlafstörungen hindeuten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass im Vergleich zum Hintergrundrauschen eine große Effektstärke (d = 0,75) vorhanden ist. Die Autoren beschreiben kritisch Stärken und Schwächen der Studie. Das grundsätzliche Design heben sie positiv hervor, die geringe Probandenzahl sowie technischen Schwierigkeiten, welche zu einer noch geringeren Anzahl auswertbarer Datensätze führten (n = 8 - 12) werden jedoch klar negativ benannt. Eine Folgestudie mit mehr Pro-

banden könnte mögliche Wirkungen mit geringerer Effektstärke feststellen. (Eine Einordnung der Ergebnisse der vorgestellten Studie in die vorhandene wissenschaftliche Literatur gestaltet sich schwierig, da die meisten Studien die Auswirkungen von Mobilfunk auf den Schlaf anhand von kurzfristigen Befeldungen, unter simulierten Laborbedingungen oder anhand von epidemiologischen Erhebungen bewerten. Mehrere Übersichtsarbeiten (Hamblin & Wood, 2002; Rubin et al., 2011; Zhang et al., 2017) in kommen jedoch zu dem Schluss, dass Mobilfunk in der Lage sein kann, selektive EEG-Leistungsbänder zu beeinflussen, wenn die Befeldung unmittelbar vor oder während des Schlafes vorgenommen wird, Anm. d. Red.) (RH)

Hamblin DL, Wood AW. (2002): Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *International Journal of Radiation Biology*, 78(8), 659-669. <https://doi.org/10.1080/09553000210132298>

Rubin GJ, Hillert L, Nieto-Hernandez R, van Rongen E, Oftedal G. (2011): Do people with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields display physiological effects when exposed to electromagnetic fields? A systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, 32(8), 593-609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bem.20690>

Zhang J, Sumich A, Wang GY. (2017): Acute effects of radiofrequency electromagnetic field emitted by mobile phone on brain function. *Bioelectromagnetics*, 38(5), 329-338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bem.22052>



5G und Schlaf-EEG

Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer 5G-Felder auf das menschliche Schlaf-Elektroenzephalogramm

Sousouri G, Eicher C, D'Angelo RM, Billecocq M, Fussinger T, Studler M, Capstick M, Kuster N, Achermann P, Huber R, Landolt HP (2024). 5G Radio-Frequency-Electromagnetic-Field Effects on the Human Sleep Electroencephalogram: Eine randomisierte kontrollierte Studie an CACNA1C-genotypisierten gesunden Probanden. MedRxiv. 2024:2024-12. <https://doi.org/10.1101/2024.12.16.24319082>

Die Einführung der 5G-Technologie als neuester Standard in der mobilen Telekommunikation hat Bedenken über die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen geweckt. Insbesondere Menschen, die sich selbst als elektrohypersensibel einschätzen, sind besorgt über Schlafstörungen, Kopfschmerzen und damit verbundene Beeinträchtigungen der Gehirngesundheit aufgrund der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (RF-EMF). Während die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen der EMF-Exposition noch unklar sind, haben mehrere unabhängige Studien gezeigt, dass 2G-4G EMF akut die elektroenzephalographischen (EEG) ~ 9-16 Hz Oszillationen im Wachzustand und Schlaf verändern. Insbesondere wurden wiederholt spektrale Erhöhungen im EEG-Spindel-Frequenzbereich (11-16 Hz) im NREM-Schlaf (Non-Rapid-Eye-Movement) festgestellt. Schlafspindeln modulieren die Interaktionen zwischen dem Gehirn und seiner äußeren Umgebung; sie dämpfen im Wesentlichen die Reaktionsfähigkeit auf sensorische Reize, d. h. sie isolieren das Gehirn während des Schlafs von äußeren Störungen. Die Pulsmodulation von 2G-4G-EMF-Signalen scheint entscheidend für die Induktion von EEG-Veränderungen im Schlaf zu sein. Die hohe interindividuelle Variabilität und hohe intraindividuelle Stabilität der durch 2G-4G EMF induzierten Schlaf-EEG-Veränderungen deutet auf eine mögliche genetische Prädisposition hin.

Nach anderen Untersuchungen zu urteilen, ist der wahrscheinliche Mechanismus der EMF-Exposition auf das Gehirn mit der Depolarisierung des Membranpotenzials von Neuronen verbunden, die spannungsgesteuerte Kalziumionenkanäle (Ca^{2+}) aktiviert und zu einer erhöhten intrazellulären Ca^{2+} Konzentration führt. Der Einstrom von Ca^{2+} steuert Prozesse wie Hormonsekretion, Neurotransmitterfreisetzung, Gentranskription und neuronale Aktivität. RF-EMF können L-Typ spannungsgesteuerte Kalziumkanäle (LTCC) aktivieren, die mit der Schlafqualität und der oszillatorischen Aktivität des EEG in Verbindung gebracht werden. Verschiedene allelische Varianten des Gens CACNA1C, das für die $\alpha 1C$ -Untereinheit des L-Typ-Kalziumkanals kodiert, wurden mit verlängerter Schlaflatenz und verminderter Schlafqualität in Verbindung gebracht. Diese Untereinheit

bestimmt die Spannungsempfindlichkeit und Leitfähigkeit der LTCC. LTCC werden auf fast allen Arten von Neuronen im Gehirn exprimiert und regulieren das neuronale Feuern, Lernen und Gedächtnis, Suchtverhalten und die neuronale Entwicklung. Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob eine Exposition vor dem Schlaf mit realistischen, standardisierten 5G-EMF-Signalen die spektralen Eigenschaften von Spindeln im NREM-Schlaf-EEG beeinflusst. Außerdem sollte untersucht werden, ob die EMF-induzierten Veränderungen durch die Variante rs7304986 des CACNA1C-Gens (T/C- oder T/T-Allele) moduliert werden. Die Studie verwendet einen neuen methodischen Ansatz, die Fitting Oscillations & One Over f (FOOOF) Analyse. Diese Analyse bietet eine validierte, intuitive Methode zur zuverlässigen und informativen Extraktion der einzelnen spektralen EEG-Merkmale.

Studiendesign und Durchführung:

Vierunddreißig gesunde, rechtshändige Freiwillige, größtenteils Frauen, wurden in diese Studie aufgenommen und auf rs7304986 genotypisiert (15 T/C- und 19 T/T-Träger). Alle Teilnehmer füllten eine Reihe von Fragebögen aus, die sich auf ihren Mobiltelefongebrauch, ihre Medikamenteneinnahme, ihr Schlafverhalten sowie ihren allgemeinen und neurologischen Gesundheitszustand bezogen. Alle Teilnehmer absolvierten drei experimentelle Nächte mit unterschiedlichen, standardisierten Expositionsbedingungen nach einem randomisierten, doppelblinden Cross-over-Design:

- 1) 30-minütige Exposition vor dem Schlafengehen mit einem aktiven 5G-EMF bei einer Trägerfrequenz von 700 MHz, 20 MHz Bandbreite und 12,5 Hz Leistungsregelung,
- 2) 30-minütige Exposition vor dem Schlafengehen mit einem aktiven 5G-EMF bei einer Trägerfrequenz von 3,6 GHz, 100 MHz Bandbreite und 12,5 Hz Leistungsregelung, und
- 3) eine 30-minütige Scheinexposition ohne aktives Feld.

Das Expositionssystem (sXh5G, IT'IS Foundation, Zürich, Schweiz) wurde kalibriert, um sicherzustellen, dass die spezifische Absorptionsrate (SAR) für den Kopf 2 W/kg nicht überschreitet. Die Ausgangsleistung betrug 4,28 W bei 700 MHz und 1,63 W für das 3,6-GHz-Signal. Bei beiden Signalen (700 MHz und 3,6 GHz) wurde eine identische Leistungskontrolle angewendet, die eine niederfrequente Amplitudenmodulation bei 12,5 Hz zusätzlich zur Modulation einführt. Die Spitzenbelastungen befinden sich in dem der Antenne am nächsten gelegenen kortikalen Gewebe, wobei das auffälligste Merkmal die viel höhere Abklingrate der SAR bei der höheren Frequenz ist. Für die EEG-Aufzeichnungen verwendeten die Wissenschaftler 128-kanalige Electrical Geodesics Sensornetze für nächtliche hd-EEG-Aufzeichnungen (Electrical Geodesics Inc., EGI, Eugene, OR).

Ergebnisse:

T/C-Träger berichteten über eine längere Schlaflatenz im Vergleich zu T/T-Trägern. Die statistische Analyse der Nachtschlaf-Variablen ergab eine Interaktion zwischen „Exposition“

und „Genotyp“ für die späteren Schlafstadien, aber Post-hoc t-Tests zeigten keine signifikanten Unterschiede. Im nächsten Schritt beobachteten die Autoren deutliche negative und positive Spitzen in den spezifischen Leistungsverhältnissen, die eher auf eine Verschiebung der Spindel Spitzenfrequenz als auf einen allgemeinen Anstieg der spektralen Leistungsdichte hinweisen.

Anschließend analysierten sie die periodischen Komponenten der oszillatorischen Spindelaktivität im NREM-Schlaf-EEG, was eine signifikante Interaktion zwischen „Exposition“ und „Genotyp“ für die zentrale Frequenz der Schlafspindelaktivität ergab.

Schließlich wurde ein topographischer Vergleich, d.h. eine EEG-Analyse mit hoher Dichte, durchgeführt. Die Mittenfrequenz der Schlafspindeln zeigte eine weit verbreitete (d.h. 50/109 EEG-Kanäle) Verschiebung zu höheren Frequenzen bei den T/C-Allel-Trägern nach der Exposition mit dem 3,6-GHz-Feld in einem großen Cluster, der zentrale, parietale und okzipitale kortikale Bereiche umfasste. Der prozentuale Anstieg der Mittenfrequenz betrug $1,43 \pm 6,5 \cdot 10^{-4} \%$, was einer mittleren Verschiebung der Frequenz der Schlafspindel-Spitze von $13,62 \pm 0,1$ Hz in der Scheinbedingung auf $13,82 \pm 0,1$ Hz nach der 3,6 GHz-Exposition entspricht. Die Beschleunigung der Mittenfrequenz nach der 3,6 GHz-Exposition im T/C-Genotyp war konsistent und zeigte eine große Effektgröße (Cohen's d Mittelwert \pm std = $0,78 \pm 0,18$; Cohen's d [min, max] = [0,28, 1,28]; Cohen's d > 0,57 in 48 von 50 Kanälen).

Schlussfolgerung:

Unter Verwendung des kürzlich entwickelten FOOF-Algorithmus fand diese Studie 5G-induzierte Veränderungen in den Spindel Spitzen-Komponenten im NREM-Schlaf-EEG. Es wurde eine signifikante Interaktion zwischen der Exposition und der genetischen Variante in der zentralen Frequenz der Schlafspindeln festgestellt. Die Autoren wiesen eine weit verbreitete Verschiebung der Mittelfrequenz der Schlafspindeln hin zu schnellerer oszillatorischer Aktivität bei Trägern des T/C-Allels nach Exposition bei einem 5G RF-EMF mit einer Trägerfrequenz von 3,6 GHz nach, was die L-Typ spannungsgesteuerten Kalzium-Kanäle in die physiologische Reaktion auf RF-EMF einbezieht. Eine geringere Verschiebung wurde auch nach der Exposition mit dem 700 MHz-Signal beobachtet. Falls vorhanden, ist die Wirkung des niederfrequenteren 700-MHz-Feldes mit der derzeitigen Methodik nur geringfügig nachweisbar. Die Diskrepanz zwischen der tieferen Durchdringung des 700 MHz-Signals, die sich aus der simulierten SAR-Verteilung im Gehirn ergibt, und den ausgeprägteren Wirkungen auf die EEG-Schlafspindeln, die nach Exposition mit dem 3,6 GHz-Signal beobachtet wurden, bleibt unklar. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer umfassenden Untersuchung der komplexen Eigenschaften der neuen 5G-Signale. Knoblauch et al. 2005 zeigten die zirkadiane Regulation der Spindelzentrumsfrequenz mit einer Frequenzreduktion (von $\sim 13,85$ auf 13,7 Hz), die mit der Melatoninsekretion zusammenfällt. Da hier eine erhöhte Spindelzentrumsfrequenz

nach 5G-Exposition gefunden wurde, kann ein zirkadianer Effekt von HF-EMFs, wie z.B. eine reduzierte Melatoninproduktion, nicht ausgeschlossen werden. (Die Melatoninspiegel wurden in dieser Studie jedoch nicht untersucht.) Diese Ergebnisse liefern erste Hinweise darauf, dass das LTCC Cav1.2 eine mechanistische Rolle bei der Interaktion zwischen EMF und dem menschlichen Gehirn spielt. Diese Hypothese könnte weiter getestet werden, indem die Auswirkungen von HF-EMF auf das Schlaf-EEG nach selektiver pharmakologischer Modulation dieser Kanäle untersucht werden. (AT)



Mobiltelefone und Hörverlust

Hochfrequenz-Hörverlust bei Mobiltelefonnutzern

Jha I, Alam MK, Kumar C, Sinha N, Kumar T (2024). High-Frequency Hearing Loss Amongst Smart Mobile Phone Users: Eine Fall-Kontroll-Studie. *Annals of African Medicine*. 2024 Oct 1;23(4):684-7. https://doi.org/10.4103/aam.aam_93_24

In den letzten 20 Jahren ist die Zahl der Mobiltelefonnutzer von 12,4 Millionen auf etwa 5,6 Milliarden gestiegen, d. h. 70 % der Weltbevölkerung. Mobiltelefone können Kopfschmerzen, eine veränderte Wahrnehmung, Schlafstörungen und ein Wärmegefühl am Ohr verursachen, und Handys, die nahe am Ohr gehalten werden, können das Gehör schädigen. Die Hirnstamm-audiometrie (BERA), ein nichtinvasiver Test, zeichnet als Reaktion auf einen Klickreiz über Kopfhörer Potenziale aus dem Hirnstamm auf, indem Oberflächenelektroden am Warzenfortsatz und am Scheitel der Kopfhaut angebracht werden. BERA diagnostiziert Defekte vom Hirnnerv VIII zum auditorischen Kortex. Das Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen von Smartphone-Exposition auf die zentrale Hörbahn mittels BERA zu untersuchen.

Studiendesign und Durchführung:

Sechzig Personen zwischen 18 und 30 Jahren wurden in die Studie aufgenommen. Ausschlusskriterien: Epileptiker, Raucher, Personen, die über irgendeine Art von Trauma am Ohr oder lärmbedingten Hörverlust berichten, Personen, die Neuroleptika, Antidepressiva oder Furosemid einnehmen, COVID-positive Personen, Drogenkonsumenten, Personen mit chronischen Krankheiten wie Diabetes, Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen oder einer familiären Vorgeschichte von Hörstörungen wurden nicht in diese Studie aufgenommen. Gruppe I bestand aus 30 Personen, die Smartphones seit 1–5 Jahren und mehr als 2 Stunden pro Tag benutzt hatten. Gruppe II (30 Personen) bestand aus Smartphone-Nutzern mit einer Nutzungsdauer von mehr

als 5 Jahren und mehr als 2 Stunden pro Tag. Die Hypothese war, dass die BERA-Wellen und die Interpeak-Latenz (IPL) bei Personen, die Smartphones über einen längeren Zeitraum nutzen, verzögert sind. (Die IPL bezeichnet die Verzögerung zwischen den Peaks I und III oder Peaks III und V des BERA, die für gewöhnlich etwa 2 ms beträgt. Peak I entspricht dem Hörnerv, Peak III und V entsprechen nachfolgenden Strukturen im Hirnstamm, Anm. der Red.) Als aktive Elektrode wurden Scheibenelektroden am Mastoid oder Ohrläppchen, als Referenzelektrode am Scheitel des Schädels und als Masseelektrode an der Stirn in der Mittellinie angebracht. Das rechte Ohr wurde getestet, das gegenüberliegende Ohr wurde mit 40 dB weißem Rauschen maskiert. Es wurden akustische Klickreize mit Kopfhörern bei 80 dB und 4, 6 und 8 KHz verwendet. Es wurden zwei Messwerte aufgezeichnet, um die BERA-Wellen I-VII und die Interpeak-Latenzen zu reproduzieren.

Ergebnisse:

Die BERA-Wellen III und V in Gruppe 2 (> 5 Jahre Nutzung) waren signifikant verzögert. Dies bezeugt Schäden an den Gehör-relevanten Gehirnstammstrukturen durch die elektromagnetische Exposition. Bei 4 KHz wurde eine signifikante Verzögerung für die Wellen III und V sowie die Interpeak-Latenz I-III, I-V in Gruppe 2 festgestellt. Bei 6 KHz wurde eine signifikante

Verzögerung ($p < 0,05$) der Wellen III und V festgestellt. Hochsignifikante Interpeak-Latenzen I-III und I-V wurden in Gruppe 2 berichtet. Alle Parameter waren bei 8 KHz im Vergleich zu 4 KHz in Gruppe 2 hoch signifikant. Der Prozentsatz der Probanden der Gruppe 2, die verzögerte BERA-Wellen III und V meldeten, betrug 60 % bei 4 KHz, 70 % bei 6 KHz und 83,33 % bei 8 KHz.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die BERA neben den schädlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung auf das Gehör von Mobiltelefonnutzern auch eine frühzeitige Beteiligung des zentralen Nervensystems erkennt. Dies ist besonders deutlich, wenn höhere Hörfrequenzen, wie 8 KHz, als Hörreiz verwendet werden. Die Ergebnisse dieser Studie werden durch frühere Erkenntnisse bestätigt. Philip 2017 berichteten über einen Hochfrequenz-Hörverlust, der durch einen otoakustischen Emissionstest bei Mobiltelefonnutzern festgestellt wurde und auf eine Schädigung der äußeren Haarzellen, insbesondere in der basalen Windung der Cochlea, zurückzuführen ist. Auch Kothari 2020 und Kellényi 1999 fanden ähnliche Trends. Die Autoren empfehlen, die Nutzung von Mobiltelefonen über längere Zeiträume zu vermeiden, insbesondere wenn das Telefon nahe am Ohr gehalten wird. Dies dürfte die physiologischen und psychologischen Parameter auf lange Sicht deutlich verbessern. (AT)

Danke Isabel Wilke



Die Diplombiologin Isabel Wilke hat fast 20 Jahre, von 2006 – 2024, die Redaktion des ElektrosmogReport geleitet und hunderte Besprechungen von Studien verfasst. Ihr ist es wesentlich zu verdanken, dass die Studienlage über die Risiken der nicht-ionisierenden Strahlung dokumentiert und bekannt ist.

In einem Interview im diagnose:funk Magazin Kompakt sagte Isabel Wilke: „Nach dreißig Jahren Auswertung der Studienlage kann ich sagen: Die nicht-ionisierende Strahlung ist gesundheitsschädlich, auch im nicht-thermischen Bereich“ und weiter: „Das Thema Strahlung zieht sich wie ein roter Faden durch mein Leben. Bereits als Kind wusste ich von meinem Vater, einem hohen Tier bei der Luftwaffe, dass radioaktive Strahlung schädlich ist, dass energiereiche, ionisierende Strahlung Schäden im Gewebe anrichten kann. Während meiner MTA-Ausbildung erfuhr ich von der Schädlichkeit der Röntgenstrahlung für Lebewesen und später im Studium lernte ich genauer, was ionisierende Strahlung bei der DNA für Schäden hervorrufen kann, nämlich die Bildung z. B. von Thymin-Dimeren im DNA-Strang, wodurch die DNA nicht mehr korrekt abgelesen werden kann. Im Fach Genetik wird ionisierende Strahlung gezielt genutzt, um für bestimmte Fragestellungen die passenden Mutationen zu selektionieren. Hängen geblieben ist mir ein Zitat aus der Medizin, das in etwa so lautet „Es reicht im Prinzip ein Strahl aus, um eine Mutation hervorzurufen, die zur Entwicklung von Krebs führen kann“.“

Wilke, die seit 1994 im Katalyse-Institut in Köln arbeitete, begann sich mit dem Thema nicht-ionisierende Strahlung aufgrund steigender Anfragen der Verbraucherberatung über Elektrosmog zu beschäftigen. Sie verfasste 2002 das Buch „Das große Strahlen- Handy & Co“, herausgegeben vom Katalyse-Institut, ein Grundlagenwerk, das bereits alle Risiken analysierte.

Für den ElektrosmogReport rezensierte sie hunderte Studien, sie gehört sicher zu den bestinformierten Expertinnen sowohl über den Stand der Forschung als auch über die heftige Debatte um die Deutungshoheit über die Studienergebnisse. Immer wieder verurteilte sie im ElektrosmogReport in pointierten Kommentaren den Einfluss der Industrie auf die Forschung und nannte furchtlos die industrieverbandelten Institute und Wissenschaftler. Weil ihre Arbeit so wertvoll ist, hat diagnose:funk alle Ausgaben des Elektrosmog von 1995 bis heute gescannt und auf der Homepage EMFData archiviert. Seit ca. 2014 hat Isabel Wilke diagnose:funk wissenschaftlich beraten, im Jahr 2018 hat sie für uns den bisher umfangreichsten WLAN-Review verfasst. Isabel Wilke geht nun in den verdienten Ruhestand. Wir danken ihr herzlich für ihren Einsatz und ihre hervorragende Arbeit. Sie wird uns weiterhin beraten. Der Biologe Roman Heeren und der Umweltwissenschaftler Alain Thill bilden nun die Elektrosmog-Report-Redaktion.

Lesen Sie zur Historie des ElektrosmogReport das Interview mit Isabel Wilke auf www.diagnose-funk.org/2003



Grundlagenbuch von Isabel Wilke von 2002

Der ElektrosmogReport:

Ein unverzichtbarer Beitrag zur Aufklärung über elektromagnetische Strahlung

Der ElektrosmogReport hat eine lange Geschichte als unabhängiger Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektrischer und magnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit. Seine Ursprünge gehen auf das Strahlentelex zurück, einen deutschen Informationsdienst, der von Januar 1987 bis 2019 erschien und sich mit Radioaktivität, Strahlung und Gesundheitsthemen befasste. Die Rubrik ElektrosmogReport entwickelte sich zu einer wichtigen Quelle für Informationen und wissenschaftliche Diskussionen über die Wirkung nichtionisierender Strahlung. Im Jahr 2019 übernahm diagnose:funk die Herausgabe des ElektrosmogReports. Die diagnose:funk Datenbank www.emfdata.org basiert auf den Auswertungen des ElektrosmogReports und dokumentiert aktuell mehr als 700 Studien und 520 Besprechungen.

Mit der englischen Ausgabe des ElektrosmogReports seit Ausgabe 4/2024 erweitert diagnose:funk den Zugang zu aktuellen Forschungsergebnissen für ein internationales Publikum. Dies ist ein bedeutender Schritt, um eine globale Debatte über die Risiken elektromagnetischer Felder anzuregen. Weitere Informationen und die Möglichkeit zum Download der aktuellen Ausgaben finden Sie auf der Website von diagnose:funk, kurzlinks.de/t3kf. Das Elektrosmog-Archiv steht auf emfdata.org.

Adressen für weitere seriöse Informationen

Diagnose-Funk e.V. - Umwelt und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V.,
Deutschland:
diagnose-funk.org, info@diagnose-funk.de

Microwavenews, USA:
microwavenews.com, louis@microwavenews.com

Prof. Joel Moskowitz, Director of the Center for Family and Community Health at the School of Public Health, Berkeley (USA):

Institutshomepage: publichealth.berkeley.edu/people/joel-moskowitz

EMF-Homepage: saferemr.com

Prof. Devra Davis (USA):
ehtrust.org, info@ehtrust.org

Prof. Igor Belyaev, Biomedical Research Center of the Slovak Academy of Science, Department of Radiobiology:
biomedcentrum.sav.sk/research-departments/department-of-radiobiology/?lang=en#1511872382060-6857c1c8-f447,
kurzlinks.de/jmi4

Blog von Prof. Darius Leszczynski (Finnland):
betweenrockandhardplace.wordpress.com

Datenbanken

emfdata.org
emf-portal.de
orsaa.org