

Millimeterwellen verändern Makrophagenproteine

In Makrophagen konnte man deutliche Beeinflussungen durch 35-GHz-Millimeterwellen nachweisen. Im Plasma von Ratten wurden mit Hilfe der Proteomic Veränderungen bei 75 mW/cm² festgestellt. Im Vergleich zum Plasma der scheinbestrahlten Zellen waren 11 Proteine und die Konzentration von Nitrotyrosin in 7 Proteinen erhöht. Diese Proteine sind an Entzündungsreaktionen, oxidativem Stress und dem Energiestoffwechsel beteiligt.

Bei 35 GHz gibt es sowohl zivile als auch militärische Anwendungen. Die Eindringtiefe in biologischem Material beträgt 0,8 mm, somit sind die äußeren Schichten der Haut betroffen. Laborexperimente zeigten, dass bei diesen Expositionsbedingungen (35 GHz, 6 und 24 Stunden bei 75 mW/cm²) Leukozyten von Ratten in den Gefäßen aggregieren und Gene nach oben reguliert werden, die mit Immunreaktionen zu tun haben. Experimente haben auch gezeigt, dass die Temperatur durch Wärmeleitung im Innern des Körpers ansteigen kann, was eine Wirkung auf periphere Blutzellen und Gewebe zur Folge hat. Auch andere Wirkungen wie Veränderung des Pulses, des Blutdrucks und der Atmung bis zum Zusammenbruch sind möglich, wenn die Strahlung 44–80 Minuten einwirkt. Es wurde von Erwärmungsempfindungen bei militärischem Personal berichtet. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde die Hypothese entwickelt, dass 35-GHz-Strahlung biologisch aktive Mediatoren im Kreislauf aktivieren kann, wodurch nachfolgend Reaktionen in Zellen und Geweben hervorgerufen werden. Solche Reaktionen hat man auch in anderen Experimenten mit anderen Tieren, bei anderen Einwirkzeiten, Frequenzen und Intensitäten gefunden.

In der vorliegenden Studie sollte herausgefunden werden, ob 35 GHz im Plasma einer Makrophagen-Zelllinie (NR8383-Rattenmakrophagen der Lungenbläschen) Veränderungen in der Proteinexpression und der Konzentration von 3-Nitrotyrosin hervorrufen. 3-Nitrotyrosin (3-NT) ist eine Variante des normalerweise in Proteinen vorkommenden Tyrosins, ein Stressmarker, der bei oxidativem Stress und Apoptose auftritt. Makrophagen wurden gewählt, weil sie an Immunreaktionen beteiligt sind und von ihnen bekannt ist, dass sie durch Hochfrequenz beeinflusst und die Reaktionen verändert werden.

Für die Experimente wurden 9 männliche Tiere eingesetzt: 3 scheinbestrahlte Kontrollen, 3 Tiere bei 42 °C Umgebungstemperatur und 3 wurden mit 35 GHz bestrahlt. Bei der Strahlungsintensität von 75 mW/cm² variierten die Einwirkzeiten, weil der Endpunkt 41 °C unterschiedlich schnell erreicht wird (s. u.). Dieser Endpunkt wurde gewählt, weil dort das Anspringen von Immunreaktionen bekannt ist. 24 Stunden nach der Behandlung wurde den Tieren das Blut entnommen und das Plasma für die Analysen weiterverarbeitet. Alle Experimente wurden als 3-fach-Ansatz durchgeführt. Für die Proteinbestimmungen wurde neben der Erhitzung als weitere positive Kontrolle Lipopolysaccharid von *E. coli* in Kombination mit Ratten-Interferon- γ verwendet.

Die Ergebnisse: Bei der Bestrahlung mit 35-GHz-Millimeterwellen steigt die Körpertemperatur auf 41/42 °C an. Der 41-°C-Endpunkt wurde zu den Zeitpunkten 42,7–44 min. bei der Hitze- und 46–47 min. bei der 35-GHz-Gruppe erreicht. Die Körpertemperatur bei der scheinbestrahlten Kontrollgruppe blieb ziemlich konstant bei 36,9–37,3 an der Hautoberfläche und 33,4–34,6 °C im Darm, über die Dauer der 46

Minuten Scheinbestrahlung. Die maximale Temperatur betrug bei der Hitzegruppe 37,7 °C und bei der 35-GHz-Gruppe 41,7 °C, wobei regionale Unterschiede im gesamten Körper auftraten, die um 6,1 °C variierten.

Die Überlebensrate der Makrophagen-Zellen betrug bei allen Ansätzen über 97 %. Für die Bestimmung der Proteine wurden ungefähr 600 Proteinflecken der Makrophagen verglichen, und es wurden 13 Proteine identifiziert, die entweder verschieden exprimiert wurden oder erhöhte Konzentrationen von 3-NT enthielten im Vergleich zu den scheinbestrahlten Zellen. Für die Auswertung wurden nur Proteine berücksichtigt, die in allen 3 parallelen Ansätzen gleich erschienen. 10 der 11 Proteine waren nach Bestrahlung 1,5- bis 3,4-fach erhöht gegenüber den scheinbestrahlten Kulturen, 5 davon waren in der Hitzegruppe 1,5- bis 3,3-fach erhöht. Ein Protein, das Prohibitin, war nur in der Hitzegruppe erhöht. Prohibitin ist ein bei Einzellern, Tieren und Pflanzen weit verbreitetes Protein, das sich im Laufe der Evolution kaum verändert hat. Es kommt in Mitochondrien- und Zellmembranen vor. Die genaue Funktion ist nicht bekannt, es könnte bei Zellteilung und Energiestoffwechsel eine Rolle spielen. Viele der in dieser Studie erhöhten Proteine sind an Makrophagenaktivierung bei Entzündungen und bei oxidativem Stress der Zelle beteiligt. Makrophagenaktivität benötigt viel Energie. Einige der hochregulierten Enzyme sind am Energiestoffwechsel und der Abwehr von Zellstress beteiligt. Eines der hochregulierten Proteine (Aldo-Keto-Reduktase) schützt DNA und Proteine vor der Oxidation. Die Ergebnisse zeigen, dass Hitze und Millimeterwellen die Ausschcheidung von aktivierenden Mediatoren in Makrophagen auslösen.

Quelle: Sypniewska RK, Millenbaugh NJ, Kiel JL, Blystone RV, Ringham HN, Mason PA, Witzmann FA (2010): Protein Changes in Macrophages Induced by Plasma From Rats Exposed to 35 GHz Millimeter Waves. *Bioelectromagnetics* 31, 656–663

Zellforschung statische Magnetfelder

Senkung des Erdmagnetfeldes vermindert Zellwachstumsrate

Kleine Veränderungen von statischen Magnetfeldern wirken auf chemische Reaktionen ein, das hat man an Zellkulturen festgestellt. In diesen neuen Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass geringe Veränderungen des statischen Magnetfeldes in verschiedenen Brutschränken signifikante Veränderung der Zellzyklusrate in Zellkulturen zweier verschiedener Krebszelllinien zur Folge haben. Die Experimente ergaben, dass schwache Magnetfelder signifikante Wirkungen auf Zellsysteme haben. Die Veränderungen sind nicht das Ergebnis von Einwirkungen auf Zellzyklus, Nekrose oder Apoptose. Brutschränke stehen im Erdmagnetfeld, und sie werden durch künstliche Felder im Hintergrund beeinflusst, z. B. durch den Ventilator. Das bedeutet, dass man bei Experimenten die Magnetfelder ebenso kontrollieren muss wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur und CO₂-Gehalt.

Das Erdmagnetfeld ist nahezu statisch und homogen; die Feldstärke beträgt zwischen 25 und 65 μ T. In Gebäuden und der Umgebung von technischen Einrichtungen wird das Erdmagnetfeld verzerrt, besonders durch metallische Gegenstände, wie z. B. auch Labor-Brutschränke. Die Feldstärken können dort stark variieren, man misst dort Unterschiede von bis zu 40 μ T. Geringe Änderungen der Feldstärken können die Konfiguration von Proteinen verändern, und das hat Auswirkungen auf die Zellen und den gesamten Organismus. Diese Wirkungen

sind reproduzierbar, in vielen Zellen nachgewiesen und es wird diskutiert, sie für therapeutische Zwecke einzusetzen, auch wenn die Mechanismen unbekannt sind.

In früheren Arbeiten hatten die Forscher ein um 40 % erhöhtes Wachstum von HUVEC-Zellen nach 48 Stunden bei 60 und 120 μT herausgefunden im Vergleich zu Zellen, die abgeschirmt waren und in einem niedrigen Feld von 0,2–0,7 μT gehalten worden waren. Die hier vorliegenden Experimente basieren auf Überlegungen, dass geringe Änderungen der statischen Magnetfelder, die in der Größenordnung der Variationen des Erdmagnetfeldes liegen und wie sie auch in der Umgebung von Brutschränken vorkommen, Auswirkungen auf das Verhalten von Krebszelllinien haben. Zwei verschiedene Arten von Zelllinien, ein Fibrosarkom (HT1080) und Krebszellen des Dickdarmes (HCT116), wurden drei verschiedenen statischen Magnetfeldern ausgesetzt: einem Hintergrund-Feld von 6–13 μT , einem ungestörten durchschnittlichen Erdmagnetfeld von 43–45 μT und einem reduzierten Feld von 0,2–0,7 μT . Danach wurde jeweils die Zellzahl bestimmt.

Geringe Feldänderungen resultierten bei beiden Zelllinien in verminderter Zellwachstumsrate. Beim stark reduzierten Feld (0,2–0,7 μT) war nach 4 Tagen eine signifikant verminderte Zellzahl zu beobachten gegenüber dem 45- μT -Feld. Um die Schwelle für diese Wirkung zu finden, wurden Zellen bei 0,2–0,7 μT und 10–20 μT inkubiert. Es zeigten sich kaum Unterschiede im Wachstum bei Magnetfeldern zwischen 10–20 μT und 0,2–0,7 μT , d. h. die Schwelle liegt bei etwa 20 μT . Deshalb müssen Magnetfelder bei Experimenten mit Zellkulturen genauso strikt kontrolliert werden wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO_2 -Konzentration.

Zur Identifizierung der Ursache wurden Nekrose und Apoptose sowie der Zellzyklus untersucht. Dort fanden sich aber keine signifikanten Unterschiede. Zuletzt wurde die Zellzahl nach einer längeren Kulturperiode (4 Tage) bestimmt bei 0,2–0,7 μT und 45 μT . Nach 2 Tagen gab es kaum Unterschiede, nach 4 Tagen jedoch im niedrigen Feld eine signifikant geringere Zellzahl. Das heißt, die Wirkung der Magnetfelder hängt von der Zelldichte ab.

Die Ursachen bzw. Mechanismen dafür sind unklar. Die geringere Zellzahl muss auf eine allgemeinere Verminderung der Zellzyklusrate zurückgeführt werden, denn weder Apoptose noch Nekrose, DNA-Schädigung, Mitose-Störung oder Checkpoint-Aktivierung (an einem Checkpoint entscheidet die Zelle, ob sie den Zellteilungsvorgang verlangsamt oder ganz blockiert, wenn Schäden auftreten) liegen der beobachteten Veränderung zugrunde.

Eine mögliche Erklärung ist, dass geringe Änderungen des statischen Magnetfeldes die Energie verändern, die benötigt wird, um den Übergang der Elektronen vom Singulett- in den Triplett-Zustand zu erreichen. Dadurch wird die Konzentration von freien Radikalen bzw. von deren Stoffwechselprodukten oder deren Reaktionsgeschwindigkeit in den Zellen verändert. Diese Wirkung würde alle Stoffwechselwege beeinflussen, an denen freie Radikale beteiligt sind, ohne dass Apoptose, Nekrose oder der Zellzyklus betroffen sind.

Ein wichtiges Ergebnis ist, dass die Schwelle für die Magnetfeldintensität, bei der die Veränderungen in der Wachstumsrate festzustellen sind, herausgefunden wurde. Wenn das Magnetfeld weniger als 20 μT beträgt, findet man kaum einen Unterschied in der Wachstumsrate.

Quelle:

Martino CF, Portelli L, McCabe K, Hernandez M, Barnes F (2010): Reduction of the Earth's Magnetic Field Inhibits Growth Rates of Model Cancer Cell Lines. *Bioelectromagnetics* 31, 649–655

Wissenschaft und Wirtschaft

Kaum Hinweise auf Schäden?

Zwei Übersichtsarbeiten (Reviews) haben gesundheitliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern untersucht und sind zu dem Schluss gekommen, dass es keinen Grund zur Besorgnis gibt. Die eine Arbeit wurde von ICNIRP-Angehörigen verfasst und fußt auf Daten, die von der ICNIRP zusammengestellt worden waren, die andere wurde von der Électricité de France bezahlt.

1. „Lack of ...“

Diese von der Électricité de France finanzierte Studie fand keine Wirkung von 50-Hz-Feldern auf bestimmte Rezeptoren im Hirngewebe von Ratten. Weil zwei Untersuchungen ergeben hatten, dass 50-Hz-Magnetfelder die Bindungsaffinität eines bestimmten Serotonin-Rezeptors (5-HT) verminderten, sollte nun untersucht werden, ob die Bindung des Rezeptors und seine physiologische Funktion beeinflusst werden und ob dies mit der Aktivierung des Rezeptors zusammenhängt. Dafür wurden Rohextrakte von Membranteilen mit 50-Hz-Magnetfeldern der Stärke 1 mT eine Stunde lang behandelt, in 3-fachem Ansatz. Man fand in der Membranaffinität keine signifikanten Unterschiede zu den scheinbestrahlten Kontrollen, während die positive Kontrolle bei allen Varianten deutlich niedriger liegt. Man schlussfolgert, dass es keine Beeinflussung der physiologischen Funktion unterhalb der Grenzwerte für berufliche Belastung gibt.

Quelle: Masuda H, Poulliet de Gannes F, Haro E, Billaud B, Ruffié G, Lagroye I, Veyret B (2010): Lack of effect of 50-Hz magnetic field exposure on the binding affinity of serotonin for the 5-HT 1B receptor subtype. *Brain Research*, doi: 10.1016/j.brainres.2010.10.103

2. Kaum genotoxische Wirkungen?

In dieser Übersichtsarbeit (Review) dienten die früheren Recherchen der ICNIRP als Grundlage, um eine Aktualisierung, Ergänzung und Neubewertung vorzunehmen. Alle an dieser Studie Beteiligten sind oder waren Mitglieder des ständigen Komitees für Biologie der ICNIRP. Untersucht wurden Arbeiten, in denen In-vivo- und In-vitro-Experimente zu genotoxischen Wirkungen von Hochfrequenz durchgeführt worden waren. Es überrascht daher nicht, dass die Auswertung der zusammengestellten Arbeiten kaum Grund zur Beunruhigung ergab. Die Rede ist von „angeblichen Radiofrequenz-induzierten genetische Wirkungen ...“. Nach Meinung der Autoren sollen viele Ergebnisse auf thermischen Wirkungen beruhen. Andere Experimente genügen angeblich den Anforderungen nicht, aus verschiedenen Gründen. Nur wenige Experimente, so wird angegeben, scheinen nicht-thermische Wirkungen gezeigt zu haben, aber insgesamt seien die Hinweise auf genotoxische Wirkungen bei geringen Feldstärken sehr schwach. Nur der Problematik Krebs durch Langzeiteinwirkung von Mobilfunkstrahlung und Kombinationen von Chemikalien und Strahlung sollte man mehr Aufmerksamkeit schenken.

Man fragt sich, wie das alles zusammenpasst: Angeblich gibt es unterhalb der Grenzwerte keine thermischen Wirkungen (danach sind die Grenzwerte ja festgesetzt), die meisten Ergebnisse sollen jedoch auf thermischen Wirkungen beruhen und trotzdem gibt es nicht-thermische Wirkungen, die vielleicht bei Langzeiteinwirkung und bei Krebs zum Tragen kommen könnten?

Quelle: Verschaeve L, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, van Rongen E, Veyret B, Xu Z (2010): Review: In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 705, 252–268