

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

13. Jahrgang / Nr. 4

www.elektrosmogreport.de

April 2007

Forschung und Hochfrequenz

Zelltod durch GSM- und DCS-Mobilfunkstrahlung

In Labortests mit der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*, einem seit langem gern genutzten Forschungsobjekt, wurden Schäden in verschiedenen Stadien der Ei-Entwicklung festgestellt, wenn die Eier mit Mobilfunkfrequenzen von 900 und 1800 MHz bestrahlt wurden. Vor allem empfindliche Phasen am Anfang und in der Mitte der Entwicklung sind besonders anfällig.

Bei der Zellvernichtung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Vorgängen: der Apoptose (dem genetisch programmierten Zelltod), der Autophagie („Selbstverdauung“ von Körperzellen in Fresszellen) und der Nekrose. Die Unterschiede bestehen in verschiedenen Auslösern und unterschiedlichen Abläufen unter Beteiligung verschiedener Enzyme. Apoptose und Autophagie werden genetisch gesteuert, während die Nekrose durch Verletzungen (z. B. Quetschung, Stich), Infektionen oder schädliche Chemikalien ausgelöst wird. Bei einigen Entwicklungs- und Immunabläufen im Organismus ist in bestimmten Phasen die Apoptose vorgesehen, weil einige Zellarten nicht mehr gebraucht werden. Auch bei der Eizell-Entwicklung (Oogenese) werden bestimmte Zellen apoptotisch abgebaut.

Ziel der hier vorliegenden Experimente war zu untersuchen, ob Mobilfunkfrequenzen die Apoptose auf bestimmten Entwicklungsstufen der Eizell-Reifung beeinflussen, und zwar in der Weise, dass Apoptose eingeleitet wird, wo normalerweise keine Apoptose stattfindet. Die Eizellen von *Drosophila melanogaster*, der Fruchtfliege, wurden zu diesem Zweck in verschiedenen Entwicklungsstufen untersucht. Bei *Drosophila* ist die Apoptose bei der Keimzellreifung in den letzten Jahren gut untersucht worden, deshalb eignen sich diese gut als Untersuchungsobjekte. Man weiß, dass Zellen, die nicht mehr gebraucht werden, sich selbst durch ein Selbstmordprogramm zerstören, in genau bekannten Stadien der Entwicklung. Die Eizell-Reifung bei der Fruchtfliege läuft in 14 Stadien ab, wobei das Anfangsstadium und die Stadien 7–8 besonders empfindlich sind. Diese Stadien werden checkpoints genannt. Beide checkpoints sind sehr empfindlich gegen Nahrungsmangel und zellschädigende Gifte. In den Stadien 11–14 wird natürlicherweise die Apoptose bestimmter Zellen eingeleitet. Dieser Vorgang ist nötig, damit die Reifung der Eizelle und der Eisprung stattfinden können.

Bei diesen Experimenten wurden 5 Gruppen von Fliegen, je 10 männliche und 10 weibliche, verwendet. Die mit Mikrowellen bestrahlten Gruppen wurden 6 Tage lang einmal täglich für 6 Minuten mit den jeweiligen Frequenzen bestrahlt. Bei den be-

strahlten Tieren gab es 3 Gruppen: 900 und 1800 MHz direkte Bestrahlung und 900 MHz in einem Abstand vom 1 cm (900 A). Die maximale spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert) betrug 0,89 W/kg. Als Kontrollen wurden eine unbehandelte und eine scheinexponierte Gruppe (SE) hinzugefügt. In früheren Experimenten wurde von den Forschern schon herausgefunden, dass 5 mal 6 Minuten ausreichen, um einen signifikanten Effekt auf die Reproduktion hervorzurufen. In den ersten 48 Stunden wurden männliche und weibliche Tiere getrennt gehalten, um sicher sein zu können, dass reife Eizellen vorhanden sind. Dann wurden die Tiere als Paare zusammengesetzt und für 72 Stunden zum Eierlegen in Ruhe gelassen. Im Stadium 10 (vor der natürlichen Apoptose) wurden die Eier entnommen für den TUNEL-Test (s. S. 4). Die mikroskopische Auswertung erfolgte als Blindtest, d. h. der/die Mikroskopierende wusste nicht, welche Probe was ist.

Ergebnisse: In 8 verschiedenen Experimenten wurden starke Einflüsse auf den Zelltod beider Frequenzen festgestellt. 63 % bei 900 MHz, 45 % bei Experiment 900 A und 39 % bei 1800 MHz der Zellen waren so geschädigt, dass der Zelltod erfolgte nachgewiesen durch Untersuchung auf DNA-Strangbrüche. In der scheinexponierten Gruppe und der Kontrollgruppe waren nur 7,78 % bzw. 7,75 % geschädigt, was der natürlichen Spontanrate während der Oogenese von *Drosophila* entspricht.

In allen feldexponierten Gruppen war die Apoptoserate signifikant höher als bei den Kontrollen und den scheinexponierten Zellen. Die höchste Rate bei Kontrollen und scheinexponierten Zellen war bei den beiden checkpoints. Nur wenige fand man in den Stadien 1–6 und 9–10. Die Temperatur veränderte sich nicht während der Bestrahlung.

Diskussion: Natürlicherweise treten Stressreaktionen im Stadium Anfangsstadium und den Stadien 7–8 (checkpoints) auf. In diesem Experiment wurde herausgefunden, dass nach Mikrowellenbestrahlung in allen Stadien (1–10) DNA-Fragmente auftauchen. Hier wurde auch zum ersten Mal gezeigt, dass der Zelltod in allen Zellarten vorkommt, nicht nur in den Ernährungs- und Follikelzellen (was schon bekannt war), sondern

Weitere Themen Magnetfeldwirkung auf Kollagen, S. 2

Die Magnetfelder von Kernspintomografen erzeugen Veränderungen in der Proteinstruktur von Fibroblasten.

Keine Forschung zur Handynutzung ..., S. 3

...in Deutschland. Das BfS hält die Forschung für zu aufwändig und teuer. Das ergab die Machbarkeitsstudie.

Kurzmeldungen, S. 4

Funkimmissionen im Internet, Bienenflug wird durch Funk gestört, Arbeitsschutz bei Magnetresonananzgeräten

auch in den Eizellen. Eine mögliche Erklärung für diese Effekte ist, dass elektromagnetische Felder von 900 und 1800 MHz eine externe Stressbelastung darstellen, gegen die die Keimzellen keine Abwehrmechanismen haben, wie sie es bei ernährungsbedingtem oder chemischem Stress haben. Die Experimente zeigen, dass 900 und 1800 MHz in Eizellen bis zu 55 % mehr Zelltod verursachen im Vergleich zu den Kontrollen und den scheinexponierten Zellkulturen bei nur 6 Minuten Bestrahlung pro Tag über 6 Tage. Die stärkste Zellschädigung (DNA-Fragmentierung) war bei den checkpoints, die schon als empfindlichste Stadien bekannt sind. Sie sind es offensichtlich auch bei elektromagnetischen Feldern. Im Anfangsstadium ist die Empfindlichkeit noch höher als in den Stadien 7–8 (mittlere Stadien). Man geht davon aus, dass die Natur solche checkpoints zur Kontrolle eingerichtet hat, um geschädigte Zellen nicht unnötig lange durchzufüttern. Es sollen keine Nährstoffe verschwendet werden. Außerdem könnten die DNA-Schäden vererbt werden, wenn keine Reparatur erfolgt oder der Zelltod eintritt.

Frequenzen um 900 MHz scheinen eine stärkere Wirkung zu haben als 1800 MHz. Eine mögliche Erklärung kann der biophysikalische Mechanismus sein, der schon früher vorgeschlagen wurde über die Wirkung von EMF auf Zellen, die besagt, dass niedrigere Frequenzen eine stärkere bioaktive Wirkung haben als höhere unter den selben Bedingungen. Dazu passt, dass elektrische Felder im Bereich von einigen Volt pro Meter (V/m) in der Lage sind, Zellfunktionen zu unterbrechen durch irreguläres Öffnen von Kanälen (gating), nämlich von elektro-sensitiven Ionenkanälen der Plasmamembranen. Die elektromagnetischen Felder von 900 MHz und 1800 MHz haben anscheinend genügend Intensität, um diese Vorgänge auszulösen. Dazu muss weitere Forschung erfolgen.

Die neuen Ergebnisse stimmen voll mit früheren überein und liefern darüber hinaus eine weitere Erklärung: Die große Abnahme der reproduktiven Kapazität in den früheren Experimenten ist nicht zurückzuführen auf Verlangsamung der Zellprozesse, wie angenommen wurde, sondern auf die Zerstörung einer großen Zahl von Keimzellen während der frühen und mittleren Stadien der Eizell-Entwicklung. Entweder geschieht dies durch stressinduzierte Apoptose oder durch Nekrose, die von der Mobilfunkstrahlung verursacht wird. Die neuen Ergebnisse stimmen auch überein mit früheren Ergebnissen anderer Wissenschaftler: Weil es keine erkennbare Temperaturerhöhung gab sind die Effekte als nicht-thermisch einzustufen.

Es ist nicht klar, ob die Apoptose vom Organismus eingeleitet wurde, weil die elektromagnetischen Felder Stress hervorrufen, oder ob die Mobilfunkstrahlung eine direkte Schädigung verursacht, die dann zu Nekrose führt. Das herauszufinden, wird Gegenstand der nächsten Serie von Experimenten sein.

Obwohl man es nicht direkt übertragen kann, halten es die Forscher für möglich, dass ähnliche Wirkungen auch beim Menschen auftreten können, und zwar aus zwei Gründen: Erstens sind Insekten widerstandsfähiger als Säuger, zumindest gegenüber ionisierender Strahlung, und zweitens passen die Ergebnisse zu Ergebnissen von Experimenten mit anderen Säugerzellen. Es kann auch sein, dass die Einleitung des Zelltods vieler Zellen der Grund für Kopfschmerzen, Müdigkeit und Schlafstörungen ist, bekannt als „Mikrowellensyndrom“. Deshalb denken die Forscher, dass diese Ergebnisse einen vorsichtigen Gebrauch des Mobilfunks anraten lassen und ein Überdenken der heutigen Expositionskriterien nötig ist.

Quelle:

Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis JP, Margaritis LH (2007): Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. Mutation Research 626, 69–78

Magnetfeldwirkung auf Proteine

Magnetfelder verändern die Kollagenstruktur der Haut

Die in der Medizin eingesetzte Kernspintomografie wurde hier für Experimente verwendet, um mögliche Wirkungen auf Zellebene bei Hautfibroblasten herauszufinden. Die angewandten Magnetfelder bewirken verschiedene Veränderungen bei bestimmten Proteinen, den Kollagenen, vor allem in der Löslichkeit, was die Funktion der Struktur- und Regulationsproteine in Hautzellen und der umgebenden Substanzen (der extrazellulären Matrix) beeinflusst.

Fibroblasten sind die Vorläuferzellen der Fibrozyten, der Bindegewebszellen. Fibroblasten erzeugen Proteine, die aus der Zelle ausgeschleust werden und im so genannten Extrazellularraum zu langen Kollagenfasern verbunden werden und die extrazelluläre Matrix bilden. Sie setzt sich zusammen aus vielen Kohlenhydraten und Strukturproteinen (Kollagene als Gerüst-/Stützproteine) mit Wassereinlagerung. Die extrazelluläre Matrix (ECM) macht den größten Anteil der normalen Haut aus, durch sie erhält die Haut ihre Eigenschaften wie Elastizität, Straffheit und Druckfestigkeit. Neben der Stützfunktion reguliert die Matrix den Transport von Nähr- und Abfallstoffen, den Wassergehalt und Immunreaktionen. Störungen der ECM und des Kollagenstoffwechsels, verursacht durch Sonneneinstrahlung, Infektionen, schlechte Nährstoffversorgung und Alterungsprozesse, sind in medizinischer und kosmetischer Hinsicht von Interesse.

Kollagen in der Hautmatrix ist hauptsächlich zusammengesetzt aus Typ I (80–85 %) und Typ III (8–11 %), beides faserige Kollagene, die vernetzt sind und die für die Hautspannung verantwortlich sind. Bei Hautalterung steigt die Vernetzung des Kollagens an. Im ECM laufen viele chemische und physikalische (mechanische und elektromagnetische) Stoffwechselprozesse ab, die Auf- und Abbau sowie Reparatur betreffen. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts gibt es zahlreiche therapeutische Ansätze, mit elektromagnetischen Feldern verschiedene Verletzungen und Krebs zu behandeln. Viele 1000 wissenschaftliche Arbeiten wurden zu biologischen Wirkungen von EMF veröffentlicht, viele davon wurden mit Radiofrequenzen und Mikrowellen durchgeführt. Obwohl positive Wirkungen bei Wund- und Knochenheilung, Schmerzbesitzigung und Stoffwechselregulation bekannt sind, weiß man wenig über die Mechanismen, da die Prozesse im Körper sehr komplex sind. Da die Haut die äußere Schicht des Körpers ist, wirken elektromagnetische Felder hier stärker ein als auf jeden anderen Teil des Körpers. Diese Studie hatte zum Ziel, die physiologische Wirkung von Magnetresonanz (NMR) auf menschliche Hautfibroblasten in Zellkulturen zu untersuchen, besonders den Grad der Kollagenvernetzung, den Wassergehalt und den NMR-Einfluss auf die Gesamtheit der Proteine.

Zellkulturen der Hautfibroblasten wurden einerseits „quasistatischen“ Magnetfeldern von 4 mT (moduliert mit einem 40-Hz-Magnetfeld) und andererseits 100-kHz-Feldern mit einer Feldstärke von 1 mT ausgesetzt. Die Felder wirkten zweimal 2 Stunden pro Tag (morgens und abends) über 5 Tage auf die Zellen ein, insgesamt also 20 Stunden bei Raumtemperatur. Als Kontrollen dienten unbehandelte Zellkulturen. Nach dem Ernten der Zellen wurden sie in 5 Fraktionen aufgeteilt, um sie mit verschiedenen Methoden untersuchen zu können. Anschließend wurde der Gesamt-Proteingehalt und die Struktur der verschiedenen Kollagengruppen untersucht.