

magnetische Felder beeinflusst wird, aber die Mechanismen sind nur unzureichend bekannt.

Die Zellen der Caco2-Zelllinie wurden für 24, 48 und 72 Stunden einem Magnetfeld von 1 mT ausgesetzt und mit den unbehandelten Kontrollkulturen verglichen. Zusätzlich wurden TPA (Tetradecanoylphorbol-13-acetat als Stimulans) und EGCG (Epigallocatechin-3-gallat, ein Antioxidans, das z. B. in grünem Tee enthalten ist) einzeln oder in Kombination mit den Magnetfeldern verwendet. Alle Experimente wurden unabhängig in sechsfacher Ausführung und als Blindbestimmung durchgeführt. Die Unterschiede zwischen Kontrollen und den verschiedenen behandelten Zellkulturen (Magnetfelder und Chemikalien bzw. beides zusammen) werden in Prozent angegeben.

Wenn Caco2-Zellen den 50-Hz-Feldern ausgesetzt sind, entsteht ein zeitabhängiger Anstieg der Zellvermehrung gegenüber den Kontrollen. Nach 24 Stunden beträgt der Anstieg 10–12 %, nach 48 Stunden 12–16 %. Die Überlebensraten der Zellen waren gleich. Unter TPA-Behandlung konnte man eine generelle Verminderung des Proteingehalts feststellen.

Die Bestimmung der Proteinoxidation ergab signifikante Erhöhung nach 50-Hz-Einwirkung, die noch gesteigert werden konnte, wenn zusätzlich TPA vorhanden war. Wenn dagegen EGCG zugegeben war, steigerte sich die Oxidation nur geringfügig gegenüber den Kontrollen, während die Magnetfelder allein einen signifikanten Anstieg zur Folge hatten. Der stärkste Anstieg, um das 1,6-fache, war nach 24 Stunden zu sehen. D. h. die Proteasomen wurden nicht oder nur wenig aktiviert in Gegenwart von EGCG. Die Steigerung der Proteasomen-Aktivität könnte eine Folge des intrazellulären oxidativen Zellstress sein. Um der Toxizität als Folge der Proteinoxidation zu begegnen, leitet die Zelle den Proteasomen-Abbauweg ein. Die 20S-Proteasomen bauen oxidierte Proteine ab, da diese in der Zelle nicht mehr nützlich oder sogar schädlich sind. Die Wirkung des Magnetfeldes wurde potenziert durch TPA, was die allgemein akzeptierte Annahme bestätigt, dass Magnetfelder nicht Tumor auslösend, aber Tumor promovierend sind. Die elektromagnetischen Felder verlängern die Lebensdauer von freien Radikalen und damit deren schädliche Wirkung.

Unter Einwirkung der Magnetfelder ist die Konzentration des Proteins p27 erniedrigt, höchstwahrscheinlich durch gesteigerte Aktivität der Proteasomen. Das Protein p27 reguliert den Zellteilungszyklus, die Hauptfunktion ist, diesen zu stoppen oder zu verlangsamen (die G1-Phase wird gehemmt). Außerdem ist p27 an der Einleitung der Apoptose beteiligt und ein Substrat für die Proteasomen. Wenn p27 vermindert ist, deutet das auf eine gesteigerte Proteasomen-Aktivität hin. Durch Magnetfelder und TPA wird zum einen die Proteasomen-Aktivität gesteigert durch den Anstieg von freien Radikalen und zum anderen eine Konformationsänderung der Proteasomen-Proteine bewirkt, wodurch das p27-Protein besser an das katalytische Zentrum gelangt, abgebaut wird und dadurch wird die Apoptose verhindert. Die Proteasomen werden nicht oder weniger aktiviert in Gegenwart von EGCG, was eine hemmende Wirkung auf die 20S-Anteile signalisiert, weil die Konzentration von oxidierten Proteinen geringer ist.

Somit wäre ein weiteres Mal bewiesen, dass elektromagnetische Felder freie Radikale erzeugen, die auf verschiedene Funktionen der Zellkompartimente einwirken.

**Quelle:** Eleuteri AM, Amici M, Bonfili L, Cecarini V, Cuccioloni M, Grimaldi S, Giuliani L, Angeletti M, Fioretti E (2009): 50 Hz Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Enhance Protein Carbonyl Groups Content in Cancer Cells: Effects on Proteasomal Systems. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, doi: 10.1155/2009/834239

## Mobilfunkforschung mit Zellkulturen

# 1800-MHz-Strahlung beeinflusst die Proteinexpression

**Die Arbeitsgruppe hatte bereits Untersuchungen zur Wirkung von 900 MHz auf Zellkulturen einer Zelllinie von menschlichen Endothelzellen durchgeführt und Veränderungen der Proteinsynthese festgestellt. Nun wurden Experimente mit derselben Zelllinie und 1800-MHz-Strahlung durchgeführt. Auch hier gab es Unterschiede in der Proteinsynthese zwischen bestrahlten und unbestrahlten Zellkulturen, aber geringere als bei den 900-MHz-Experimenten.**

Endothelzellen von Hirnkapillaren sind potenzielle Zielzellen bei der Einwirkung von Mobilfunkstrahlung auf das Gehirn. In Tierversuchen wurde z. B. nachgewiesen, dass die Blut-Hirn-Schranke durchlässiger wird. Aber weil primäre Zellkulturen dieser Art schwer zu kultivieren sind, wurde hier eine bewährte, leicht zu kultivierende Zelllinie genommen, um die Wirkung von 1800-MHz-Strahlung mit der in früheren Experimenten untersuchten 900-MHz-Strahlung vergleichen zu können. Die Bestrahlungseinrichtung kam von der IT'IS-Stiftung Zürich und wurde in der Gesundheitsbehörde in Finnland (STUK) installiert. Die Einrichtung bestand aus zwei identischen Bestrahlungskammern, in die Schalen mit den Endothelzellen eingebracht wurden. Das Bestrahlungsgerät wurde für eine Stunde auf den GSM-„Talk“-Modus eingestellt, der SAR-Wert betrug 2,0 W/kg. Der Temperaturanstieg betrug nicht mehr als 0,3 °C. Demnach herrschten nicht-thermische Verhältnisse. Jeder Ansatz wurde 10-fach verblindet durchgeführt. Sofort nach der Bestrahlung erfolgte die Proteinextraktion und -aufreinigung. Nach Ende der Experimente wurden die Ergebnisse nach Zürich geschickt und dort wurde der Code aufgelöst. Man fand mit einem Computerprogramm (mit manueller Nachbearbeitung, um Artefakte auszuschließen) unter den etwa 900 Proteinen insgesamt 8 Proteine im pH-Bereich von 4–7, die statistisch signifikante Unterschiede zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Zellkulturen aufwiesen, 4 davon wurden hoch, 4 herunterreguliert. Die Faktoren variierten zwischen 0,33–0,47 und 1,47–2,46. Nur drei dieser Proteine konnten identifiziert werden: die Spermidin-Synthase (reguliert die Synthese von Aminen und Bioaminen), ein Fragment des Glukose-regulierten Proteins, das zur Hitzeschock-Protein-Familie gehört, und eine Untereinheit eines großen Proteasomen-Komplexes. Die anderen Proteine konnten nicht bestimmt werden wegen zu geringer Materialmenge. Im Vergleich zu den Untersuchungen der 900-MHz-Strahlung, bei der 38 Proteine Unterschiede zeigten, davon 28 im pH-Bereich von 4–7, waren bei 1800 MHz viel weniger Unterschiede zu finden (geringer als die Anzahl zu erwartender falsch positiver Ergebnisse). Die Unterschiede zwischen den beiden Experimenten können in den Frequenzunterschieden begründet sein, sie können aber auch dadurch zustande gekommen sein, dass bei den Experimenten mit 900 MHz keine gleichförmige SAR-Verteilung gegeben war. Die Zellkulturen waren z. T. höheren SAR-Werten als 5 W/kg ausgesetzt, während die Zellen in dem neuen Experiment homogen verteilter Strahlung von 2,0 W/kg ausgesetzt waren. Weitere Experimente, deren Ergebnisse demnächst veröffentlicht werden, haben gezeigt, dass Stress-Kinasen bei 5 W/kg, aber nicht bei 2,0 W/kg aktiviert werden.

**Quelle:** Nylund R, Tammio H, Kuster N, Leszczynski D (2009): Proteomic Analysis of the Response of Human Endothelial Cell Line EA.hy926 to 1800 GSM Mobile Phone Radiation. *Journal of Proteomics & Bioinformatics* 2 (10), 455–462; www.omicsonline.com