

gibt eine konsistente Beziehung zwischen Tumor und Mobilfunknutzung, mit einer stärkeren Beziehung zu Tumorwachstum als zu Tumorinzidenz. Die durch das Handy erzeugte lokale Erwärmung (thermische Wirkung der Mobilfunkstrahlung) könnte das Wachstum eines bereits vorhandenen Schwannoms beschleunigen. Zu klären bleibt die Wirkung der absorbierten Energie des Mobiltelefons im Gewebe am Ohr. Wenn die Energie des Mobiltelefons Gewebeabbau auf Proteinebene verursachen kann, könnten diese Veränderungen in Tumorwachstum und -charakteristik bedeuten. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass Mobilfunkstrahlung das Wachstum bestehender Tumoren beeinflusst; je länger man telefoniert desto größer ist der Tumor auf der Seite, an der das Telefon gehalten wird. Man sollte Menschen mit einem Schwannom raten, das Telefonieren mit dem Handy zu unterlassen.

Die Studie wurde von der Koreanischen Forschungsförderung finanziert und die Autoren geben an, keine finanziellen Kontakte zu Firmen zu haben.

**Quelle:** Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS (2014): Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumor Biology* 35, 581–587, DOI 10.1007/s13277-013-1081-8

### Wirkung statischer Felder

## Beeinflussung der Homöostase durch 2-mT-Magnetfelder

**Akutes Einwirken statischer 2-mT-Magnetfelder bewirkt eine 1-minütige reversible Depolarisationswelle der Zellmembranen. Es folgen Anstieg von intrazellulärem Calcium und eine Verminderung der Mitochondrienaktivität. Das Gleichgewicht zwischen innerer und äußerer Konzentration der  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen wird verschoben. Wahrscheinlich wird die Membran durchlässiger für diese Ionen mit weitreichenden Folgen für die Regulation von Stoffwechsel, Hormonsystem und Energiehaushalt der Zellen.**

Bis heute sind durch Magnetfelder verursachte Veränderungen in Zellzyklus, Homöostase, Zellstoffwechsel, Morphologie, Genexpression, der Regulation der Apoptose und der räumlichen Orientierung der Zellen gezeigt worden, aber die Signalwege sind weitgehend unerforscht. Um die Ionen-Homöostase zu untersuchen, wurden primäre Granulosazellen vom Schwein (bestimmte Zellen im Eierstock, Follikel epithelzellen, die bei der Follikelreifung eine Rolle spielen) dem 2-mT-Magnetfeld für die Zeit der Untersuchung im Mikroskop ausgesetzt. Es wurden 4 unabhängige Experimente mit 6 verschiedenen Ansätzen durchgeführt. 1. Scheinbestrahlte Kontrolle, 2. gepufferte Kochsalzlösung als Kontrollmedium (CTR-M), 3. gepufferte Kochsalzlösung mit Cholinchlorid (CC-M) als Ersatz für  $\text{Na}^+$ , 4. gepufferte Kochsalzlösung mit Tetrodotoxin als Blocker der spannungsabhängigen schnellen  $\text{Na}^+$ -Kanäle (TTX-M) und 5. gepufferte Kochsalzlösung ohne  $\text{Ca}^{2+}$  und mit 1 mM EDTA (EDTA-M), 6. gepufferte Kochsalzlösung ohne  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Na}^+$ , mit Cholinchlorid und EDTA (CC-EDTA-M). Die Zellen wurden während der Befeldung bzw. der Scheinbefeldung im Mikroskop beobachtet. Bei den scheinbefeldeten Zellen gab es keine Veränderungen der Membranpolarisation, der intrazellulären  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration und der Mitochondrienaktivität. Die Kochsalzzellen (CTR-M) reagierten mit sofortiger Depolarisation in 99,3 % der Zellen, die etwa eine Minute dauerte. Wenn der Ionenfluss von  $\text{Na}^+$  und  $\text{Ca}^{2+}$  allein von außerhalb der Zelle blockiert wurde (durch CC-M, TTX-M oder EDTA-M), blieb die Depolarisation zu  $99,3 \pm 1$  % bestehen, während sie vollständig unterblieb, wenn die beiden Kationen nicht vorhanden

waren. Analog dazu verursachte der Kontroll-Ansatz einen Anstieg von intrazellulärem  $\text{Ca}^{2+}$  von  $96 \pm 3,3$  % der Zellen im Vergleich zu den scheinbefeldeten Zellen. Dieser Vorgang unterblieb bei der Inkubation der Zellen in Anwesenheit von CC-M und TTX-M in beiden Fällen in über 90 % der Zellen, während es bei Entfernen von extrazellulärem  $\text{Ca}^{2+}$  komplett blockiert wurde (durch EDTA-M). Schließlich wurde die Mitochondrienaktivität in  $94,3 \pm 6,9$  % der Zellen verringert. Diese Ergebnisse lassen annehmen, dass das Einwirken eines statischen Feldes von 2 mT das Membran-Ruhepotenzial und das Gleichgewicht der intrazellulären  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration und die Mitochondrienaktivität beeinflusst, möglicherweise durch Öffnen der spannungsabhängigen Ionenkanäle für  $\text{Na}^+$  und  $\text{Ca}^{2+}$ . Das kann erhebliche biologische Auswirkungen haben. Das Membranpotenzial erlaubt es der Zelle, als Batterie zu funktionieren, indem sie Energie liefert für die Arbeit von in der Membran verankerten Molekülen, und spielt eine Schlüsselrolle in der Signaltransduktion. Es ist funktionell verbunden mit den spannungsabhängigen Kanälen und intrazellulärer  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration, die wiederum ein weitreichender second messenger (ein Botenstoff, der innerhalb von Zellen Signale von außen weiterleitet) von entscheidender Bedeutung in der Signalkette zwischen inner- und außerhalb der Zellmembran ist. Besonders in den Granulosazellen kontrolliert das Calcium den Stoffwechsel, die Hormonsekretion, das Zellwachstum, die Zelldifferenzierung und die Apoptose. Eine Fehlregulation all dieser Parameter kann schädliche Wirkung haben auf die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels, der die Entwicklung von Eizellen ermöglicht, und auf die endokrine Aktivität der Granulosazellen. Zudem kontrolliert die  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration im Zytosol den Energiestoffwechsel der Zelle durch Steuerung der Mitochondrienaktivität. Möglicherweise wird durch den schnellen Anstieg von  $\text{Na}^+$  und  $\text{Ca}^{2+}$  in den Zellen, ausgelöst durch die Magnetfelder, die Homöostase der Mitochondrien negativ beeinflusst und dadurch die Granulosazellenfunktion geschädigt.

Es ist bemerkenswert, dass die Zellen in den Grundzustand des Membranpotenzials nach der Depolarisation zurückfielen, wenn das Feld ausgeschaltet wurde. Beim Wiedereinschalten des Feldes kam es zu einer erneuten Depolarisation. Diese Ergebnisse stimmen überein mit Experimenten, die einen Anstieg der Zellverdoppelungszeit, Veränderung der Morphologie der Zellen und des Zellskeletts, des Zellstoffwechsels und der endokrinen Aktivität (Abfall der intrazellulären  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration und der Mitochondrienaktivität) zeigen konnten. Die Ergebnisse können zurückzuführen sein auf die Wirkung der Magnetfelder auf die Membrananordnung, denn diamagnetische anisotrope Moleküle, die die Zellmembranen bilden, rotieren in einem homogenen Magnetfeld, um eine Gleichgewichtsorientierung zu erlangen, d. h. den Status mit der niedrigsten freien Energie. Wenn Moleküle parallel zueinander angeordnet und funktionell verbunden sind, fügt individuelle Anisotropie Felder moderater Intensität hinzu und könnte dadurch eine sichtbare biologische Wirkung induzieren. Insbesondere wurde dokumentiert, dass Veränderungen in der Membranorganisation sich auf die Funktion der Ionenkanäle auswirken können, wodurch die Homöostase der Ionen beeinflusst wird. Zusammenfassend sind die Ergebnisse einerseits mit Vorsicht zu interpretieren, weil die Funktionen von Zellkulturen sich von Zellen in lebenden Geweben unterscheiden. Einige Kontrollmechanismen in der 3-dimensionalen Anordnung der biologischen Strukturen sind nicht vorhanden, ebenso wie die para- und endokrinen Faktoren. Andererseits können Zellkulturen neue Perspektiven zu Erkenntnissen über Wechselwirkungen zwischen Zellsystemen und statischen Magnetfeldern eröffnen.

**Anmerkung der Redaktion:** Wenn die Homöostase beeinflusst wird, hat das nicht zu überblickende Konsequenzen, weil die Regulation über das übergeordnete Regulationszentrum im

Hypothalamus erfolgt. Betroffen können Hormon- und Herz-Kreislauf-System, pH-Wert, Körpertemperatur, Wasser- und Elektrolythaushalt sein. Wird das  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ -Verhältnis gestört, betrifft das im Prinzip jede Zelle. Deshalb ist es auch so schwer, der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern eine Krankheit oder auch bestimmte Beschwerden zuzuordnen.

**Quelle:** Bernabò N, Saponaro I, Tettamanti E, Mattioli M, Barboni B (2014): Acute exposure to a 2 mT static magnetic field affects ionic homeostasis of in vitro grown porcine granulosa cells. *Bioelectromagnetics* 35, 231–234

### Hochfrequenzwirkung

## Oxidativer Stress durch niedrige Feldstärken bewiesen

**Forscher aus der Ukraine, den USA und Brasilien haben die wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu oxidativem Stress in Zellen durch Radiofrequenzen durchforstet und festgestellt, dass 92,5 % (76 von 80) der Arbeiten eindeutige schädliche Wirkungen der Strahlung zeigten.**

Nicht-ionisierende Strahlung wie die von Mobiltelefonen und Wi-Fi kann keine biologisch wichtigen Makromoleküle oder Wasser ionisieren, d. h. diese Strahlung kann keine Elektronen aus den Molekülen heraus schlagen. Deshalb sagen Vertreter von Industrie und öffentlichen Institutionen gern, dass die Strahlung kein Problem für die Gesundheit ist. Oxidativer Stress ist ein Ungleichgewicht zwischen den Pro- und Anti-Oxidans-Systemen im Gewebe. Das Ungleichgewicht führt zu oxidativer Schädigung von Proteinen, Lipiden und DNA durch Überproduktion von reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS) in den Zellen. Lange wurde angezweifelt, dass geringe Feldstärken von Radiofrequenzen diese Wirkung haben können, indem schlicht gesagt wurde: Wenn keine Ionisierung stattfindet, gibt es keine Gewebeschäden. Durch die weltweit stark gestiegene Anwendung von drahtloser Kommunikation entstand ein massives Interesse an der biologischen Wirkung der Hochfrequenzstrahlung, folglich zeigten epidemiologische Studien signifikant erhöhtes Auftreten verschiedener Tumorarten bei Langzeit-Vielnutzern von Mobiltelefonen, darunter Hirntumore, Akustikusneurinome, Tumore der Speicheldrüsen, Hodentumore (Seminome), Melanome und Lymphome. Außerdem wurde in der Nähe von Basisstationen eine erhöhte Tumorzinzidenz festgestellt, und die WHO klassifizierte Mobilfunkstrahlung als möglicherweise Krebs erregend für den Menschen.

Dazu tauchte ein neuer Sachverhalt auf, die Elektrosensibilität, die auch durch Hochfrequenzstrahlung verursacht wird. Typische Symptome dafür sind Juckreiz, Schmerzen und Hitzegefühl auf Haut- und Schleimhaut oder Störungen des Herz-Kreislauf- und des Nervensystems in Anwesenheit von Computern, Mobiltelefonen und anderen Geräten. Diese Erkrankungen steigen kontinuierlich an von 0,06 % in 1985 auf 9–11 % der europäischen Bevölkerung. Viele experimentelle Studien zeigen Wirkungen der Radiofrequenzstrahlung niedriger Intensität auf den Stoffwechsel, eine mutagene Wirkung und oxidativen Stress in verschiedenen biologischen Modellen. Einige Arbeiten zeigten keine biologischen Wirkungen, aber eine Analyse der durch andere Forscher anerkannten (peer-reviewed) Veröffentlichungen zu oxidativem Stress durch diese Strahlung zeigt, dass in 76 von 80 Arbeiten (92,5 %) eine signifikante Wirkung gefunden wurde. Meistens handelte es sich um Überproduktion von ROS, Lipidperoxidation (durch die Bestimmung von Malondialdehyd), Proteinperoxidation, erhöhte Konzentrationen von Stickstoffoxid (NO) und Veränderungen der Aktivität anti-

oxidativer Enzyme. Einige Arbeiten weisen auf ROS-Signalwege hin, z. B. die für die Superoxid-/ROS-Erzeugung in Mitochondrien. Spezielle Enzyme werden aktiviert, kurz nach der Einwirkung der Strahlung (nicht-phagozytäre NADH-Oxidase) und eine mechanochemische Veränderung erfolgt, die Wassermolekül-Cluster dissoziieren lässt, und das sicher durch nicht-thermische biologische Wirkung bei einer so geringen Intensität von  $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  und bei absorbierter Energie (spezifischen Absorptionsrate, SAR) von  $0,3 \mu\text{W}/\text{kg}$ . Die internationalen Grenzwerte basieren aber auf der thermischen Wirkung und liegen bei  $450\text{--}1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  und einer SAR von  $2 \text{ W}/\text{kg}$ . Studien mit Intensitäten, die thermische Wirkungen haben, konnten keinen oxidativen Stress finden. Das deutet auf verschiedene Mechanismen bei verschiedenen Intensitäten hin. Bestätigt wird der oxidative Stress in vielen Experimenten, bei denen unter Anwendung von Antioxidantien die oxidative Wirkung verhindert wurde. Es ist noch nicht geklärt, wie niedrig die Strahlungsintensität sein kann, die oxidativen Stress hervorruft, aber sicher ist, dass eine mutagene Wirkung entsteht durch DNA-Schädigung. Eine weitere Wirkung von Oxidantien ist, dass sie Signalwege in den Zellen beeinflussen, vielleicht mit verschiedenen pathologischen Folgen. Jedenfalls muss man von einem breiten Spektrum von Gesundheitsstörungen und Krankheiten bis hin zu Krebs ausgehen. Das verlangt nach weiterer Forschung und Vorsorgemaßnahmen im Gebrauch von Funkanwendungen.

**Quelle:** Yakymenko I, Sidorik E, Henshel D, Kyrlyenko S (2014): Low intensity radiofrequency radiation: a new oxidant for living cells. *Oxidants and Antioxidants in Medical Science* 3 (1), 1–3; <http://www.oamsjournal.com>

### Mobilfunktagung in Würzburg

## Gesundheitsrisiken der drahtlosen Kommunikation erörtert

**Die Tagung mit dem Thema „Langzeitrisiken des Mobil- und Kommunikationsfunks“, die mit über 230 Teilnehmern sehr gut besucht war, fand am 5. April 2014 in der Festung Marienberg in Würzburg statt. Der Veranstalter, die Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e. V., hatte hochrangige Wissenschaftler aus dem In- und Ausland eingeladen, Vorträge zu halten.**

Eine Tagung, die sich mit den Langzeitfolgen der drahtlosen Kommunikation auseinandersetzt, war längst fällig. Das zeigt auch die Zahl der 230 Teilnehmer, mit denen der Saal voll besetzt war. Die einzelnen Aspekte im Zusammenhang mit den Langzeitrisiken des Mobil- und Kommunikationsfunks deckten insgesamt die ganze gesellschaftliche, medizinische, juristische und politische Problematik ab. Angefangen beim Umgang von Politik und Industrie mit den gesundheitlichen Auswirkungen über die Entwicklung chronischer Entzündungen und Folgeerkrankungen, deren Therapiemöglichkeiten, die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen zu Hirntumoren, die Risiken für Kinder, Vorsorgekonzepte und rechtliche Probleme wie Haftungsfragen bis hin zu zwei Kurzberichten über gesundheitliche Schädigungen von Menschen und die juristische Anerkennung sowie Missbildungen bei Nutztieren waren das Themenspektrum des Tages. Die Referenten waren in der Reihenfolge Prof. Richter (Saarbrücken), Prof. Adlkofer (Berlin), Dr. Warnke (Saarbrücken), Prof. Kundi (Wien), Prof. Hardell (Örebro Schweden), Dr. Braun-von Gladiß (Lüneburg), Prof. Kühling (Halle), Verwaltungsrichter i. R. Budzinski (Freiburg i. Br.) und Dr. Eger (Naila).