

Herzen steigt (immer noch unterhalb der ICNIRP-Werte). Die Reaktion war aber nur eine geringe, zeitlich begrenzte Veränderung des Parasympathikus.

Von den 69 Teilnehmern bezeichneten sich 39 (57 %) selbst als elektrosensibel. 29 (42 %) sagten aus, sie reagieren manchmal oder immer auf Schnurlostelefone und 22 (32 %) hatten Herzsymptome, die beim HRV-Test auffielen (Veränderungen bei Puls und/oder Herzrhythmus). Nur 14 Personen (20 %) sagten, sie hätten alle 3 Symptome, 9 davon wurden aufgrund der HRV-Ergebnisse als „gering bis sehr“ elektrosensibel eingestuft. Mit dem Provokationstest HRV wurden von den 69 Teilnehmern 46 als „gering bis sehr“ elektrosensibel klassifiziert. Von denen wussten 18 nicht, ob sie elektrosensibel sind oder nicht. Einer glaubte, nicht sensibel zu sein und 27 hielten sich für elektrosensibel. Das Ergebnis war, dass 17 Personen in die Klassifizierung „gering bis sehr elektrosensibel“ passten. Das spricht gegen die Behauptung mehrerer Wissenschaftler, Elektrosensibilität sei eher psychosomatisch bedingt als physischer Natur.

Die Ergebnisse einer Reihe von anderen Studien zeigten ebenfalls elektrosensible Reaktionen, deshalb stellen die Autoren die Frage: Warum gibt es Studien, die keine Reaktionen auf die Strahlung finden? Die Symptome sind sehr komplex und der Körper hat ein internes homöostatisches System, das versucht, das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Die Funktionen des ANS sind nicht-linear und deshalb schwierig vorherzusagen. Bei Provokationsstudien müssen daher einige Dinge beachtet werden, z. B. kumulative Wirkung (chronische oder akute), Tageszeit, Frequenz und Intensität der Bestrahlung sowie individuelle Faktoren wie Gewebe- und Knochendichte, Hautfeuchtigkeit, Salzkonzentrationen und Körpergröße. In dieser Studie könnte die Elektrosensibilität sogar noch unterschätzt worden sein, vor allem verzögerte Reaktionen. Für zukünftige Untersuchungen sollte das autonome (sympathische und parasympathische) Nervensystem genauer untersucht werden, es sollten längere Bestrahlungsphasen und längere Zeiträume nach der Bestrahlung untersucht sowie die R-R-Intervalle verändert werden.

Dass Mikrowellen das Herz beeinflussen, ist keine neue Erkenntnis. Schon 1969 wurde auf einem Kongress empfohlen, herzkranken Personen nicht für Tätigkeiten im Hochfrequenzbereich zuzulassen. Das wurde bis heute nicht beachtet. Bei ständig steigender Anwendung von Hochfrequenz zu Hause, in Schulen, an Arbeitsplätzen und in Kliniken werden wahrscheinlich in Zukunft mehr Menschen mit Herzproblemen beobachtet werden, auch bei jüngeren und Personen, die verminderte Funktionen des Immunsystems haben.

Dokumentiert wurde somit eine gesteigerte Herzfrequenz, veränderte HRV und Veränderungen in der sympathischen und parasympathischen Kontrolle des ANS, ähnlich wie in der früheren Studie. Die Ergebnisse sind nicht auf Einflüsse der Geräte zurückzuführen, denn ein Test zeigte, dass es verzögerte Reaktionen gibt, nachdem die Strahlung beendet war und weil bei höheren Feldstärken am Herzen mit demselben Gerät kein Unterschied zu sehen war. Festzuhalten bleibt: Die 2,45-GHz-Strahlung von Schnurlostelefonen beeinflusst das ANS und stellt ein Risiko für Personen dar, die Vorschäden am Herzen haben und auf diese Frequenzen reagieren. Schwierig ist es, den Grad der Elektrosensibilität zu bestimmen, da EHS ein komplexes Geschehen ist.

Quelle: Havas M, Marrongelle J (2013): Replication of heart rate variability provocation study with 2.4-GHz cordless phone confirms original findings. *Electromagnetic Biology and Medicine* 32 (2), 253–266; DOI: 10.3109/15368378.2013.776437

Krebsforschung mit gepulsten Feldern

Spezifische Schädigung von Brustkrebszellen

Gepulste Magnetfelder ultra-niedriger Frequenzen und geringer Feldstärken haben das Potenzial, bestimmte Brustkrebszellen (MCF7) gezielt abzutöten. Es gibt ein Empfindlichkeitsfenster bei 20 Hz, 3 mT und 60 Minuten Feldeinwirkung pro Tag. Die Schädigung der Zellen wuchs innerhalb von 3 Tagen signifikant an. Die normalen Zellen der Brustdrüsen (MCF10) wurden nicht oder kaum geschädigt. Die Anwendung kann als Ergänzung zu den üblichen Radio- und Chemo-Therapien dienen.

Es gibt steigendes Interesse an der Anwendung von gepulsten elektromagnetischen Feldern (PEMF) zur Krebsbekämpfung, um bei Bestrahlung und Chemotherapie die Dosis senken zu können, Nebenwirkungen abzumildern und dem Patienten eine bessere Prognose zu ermöglichen. Dabei macht man sich zunutze, dass die niederfrequenten Felder normalen Zellen nichts anhaben oder für sie sogar vorteilhaft sein können. Trotz der bisherigen Erfolge gibt es noch keine sicheren Erkenntnisse, welche Zellarten auf welche EMF-Behandlung empfindlich reagieren und die Krebszellen effektiv und selektiv abgetötet werden, ohne die gesunden Zellen in der Umgebung der bösartigen zu schädigen. Hier wird gezeigt, dass die ultra-niedrigen Frequenzen von 20–50 Hz gezielt Brustkrebszellen abtöten, wenn die richtigen Feldparameter gewählt werden. Dieselben Bedingungen waren harmlos für normale Brustdrüsen-Zellen, so dass das gesunde Gewebe geschont wird, wenn bestimmte Krebsarten behandelt werden. Die Methode kann in der klinischen Therapie Anwendung finden.

MCF7-Brustkrebszellen sind Epithelzellen der Brustdrüse eines menschlichen Adenokarzinoms. Ihre normalen Gegenstücke von menschlichem Brustdrüsen-Epithel, die als Vergleichszellen verwendet wurden, sind MCF10-Zellen. Beide Zellarten wurden PEMFs ausgesetzt und die zytotoxische Wirkung gemessen. Die Kontrollzellen wurden auf dieselbe Weise behandelt, nur dass die Spulen mit mu-Metall abgeschirmten waren. Um die am besten geeignete Dosis herauszufinden, wurde das Magnetfeld in 6-Minuten-Intervallen mit Wiederholungsfrequenzen 20 und 50 Hz angewendet, bei Flussdichten von 2, 3 und 5 mT. Die getesteten Einwirkzeiten betragen 30, 60 und 90 Minuten pro Tag, 3 Tage hintereinander. Dabei stellte sich heraus, dass 20 Hz ein signifikantes Ansteigen von abgestorbenen Krebszellen abhängig von der Amplitude erzeugte, während bei 50 Hz kaum eine Wirkung auf das Zellsterben sichtbar war. Die effektivste Dauer war 60 Minuten und die effektivste Feldstärke 3 mT. Die weiteren Experimente wurden daher mit 3 mT, 20 Hz und 60 Minuten/Tag für 1, 2 und 3 aufeinander folgende Tage durchgeführt. Die Zellen wurden an den Tagen 1, 2 und 3 nach der Feldeinwirkung analysiert auf Überlebens- bzw. Absterberate mit Trypan Blau, die Apoptose mit mehreren Methoden (DNA-Strangbrüche, Beobachtung des Verlaufs der Apoptosephasen und die Erfassung der elektrischen Eigenschaften der Zellen bei zwei Frequenzen: 0,5 MHz zur Beobachtung der Apoptose und 9 MHz zur Bestimmung der Stoffwechsellätigkeit). Die Ergebnisse wurden durch 3 bis 5 unabhängige Experimente in mehreren Ansätzen ermittelt. Der Untersuchungszeitraum von 3 Tagen wurde als Grenze gesetzt, weil danach die Zellen konfluieren (die Zellzahl in der Kultur zu dicht wird), es kann zu Nährstoffmangel kommen und die Kontrollzellen würden zu dicht hochwachsen. Das könnte die

Ergebnisse beeinträchtigen. Ob mehr als 3 Tage bessere Ergebnisse bringen, müssen zukünftige Experimente zeigen.

Mit Trypanblau wurden 11 % mehr abgestorbene Krebszellen nach PEMF-Behandlung relativ zu den unbehandelten Kontrollen ermittelt. Trypanblau bringt Ergebnisse in einem späten Stadium des Absterbens. Die Analyse der DNA-Brüche (Flow Cytometrie) zeigte eine 14 % höhere Absterberate. Auch hier scheinen die Befeldungsparameter eine schützende Wirkung auf MCF10-Zellen zu haben und die Trypanblau-Ergebnisse werden bestätigt. Drittens wurde der Verlauf der Apoptose mit der Impedance Flow Cytometry (IFC) verfolgt. Das Experiment mit IFC, mit dem der Stoffwechselstatus der Zellen erfasst werden kann, stellt Änderungen der elektrischen Eigenschaften fest, die den physiologischen Zustand der Zellen wiedergeben. Bei 0,5 MHz kann bestimmt werden, wie viele Zellen Apoptose durchlaufen haben (hier waren es 16 % mehr tote Zellen relativ zur Kontrolle), und bei 9 MHz kann man sehen, ob zellulärer Stress entstanden ist. Dies war bei 25 % mehr Krebszellen der Fall. Auch hier waren die MCF10-Zellen geschützt. Zuletzt wurde der Annexin V/PI-Test durchgeführt zur Unterscheidung früher apoptotischer Zellen von geschädigten oder schon abgestorbenen Zellen. Ergebnis: 13 % mehr abgestorbene MCF7-Zellen.

Die hier durchgeführten unabhängigen Experimente und die verschiedenen Methoden brachten nahezu dieselben Ergebnisse. Das selektive Abtöten der Krebszellen wurde mit 4 verschiedenen Methoden, die alle Stufen des Zellsterbens abdecken, bestätigt. Das Zellsterben nur der MCF7-Zellen war am effektivsten mit 3 mT, Pulsfrequenz 20 Hz und 60 Minuten Dauer pro Tag, wobei die Unterschiede zu den MCF10-Zellen z. T. hochsignifikant waren, während sie bei 2 und 5 mT „nur“ signifikant waren im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollzellen. Demgegenüber scheint bei den MCF10-Zellen eine Resistenz gegen Apoptose vorzuliegen. Die Ergebnisse zeigen sehr deutlich ein schmales Empfindlichkeitsfenster der MCF7-Zellen. Höhere Felder und Frequenzen oder längere Bestrahlung waren weniger zellschädigend. Das zeigt die Bedeutung der Feldoptimierung zum Abtöten von Krebszellen mit PEMFs. Das zeigt auch: Mehr ist nicht unbedingt besser.

Die Fenstereffekte kennt man auch von anderen Experimenten, ohne dass es bisher eine allgemein anerkannte Erklärung dafür gibt. Der Fenstereffekt könnte auf Veränderungen in intrazellulären Calcium-Konzentrationen beruhen, ausgelöst durch die PEMF-Einwirkung. PEMFs verändern die intrazellulären Calcium-Signalwege und Calciumionen sind an sehr vielen Stoffwechselfvorgängen in den Zellen und an den Zellmembranen beteiligt. Die Ergebnisse bei 9 MHz im IFC geben wahrscheinlich Veränderungen in der Membran und in der Zytoplasma-Reorganisation wieder. Dass gesunde Zellen nicht von den PEMFs angegriffen werden, könnte an deren Fähigkeit liegen, Calcium-Homöostase-Mechanismen abzuf puffern. Ein solcher Calcium-abhängiger Mechanismus könnte die Apoptose in Krebszellen herbeiführen.

Der klare Nachweis der induzierten Apoptose und der Fähigkeit der PEMFs, das Zellwachstum der MCF7-Zellen zu verlangsamen, ist ein positives Ergebnis und relevant für die klinische Anwendung, da sie eine nicht-invasive PEMF-basierte Krebstherapie darstellt. Die PEMF-Parameter können gut klinisch umgesetzt werden, weil der Zeitumfang praktikabel ist und sie weitgehend unschädlich sind für gesunde Zellen in der Umgebung des Tumors. Die ermittelte Bestrahlungszeit ist sehr viel kürzer als bei anderen Methoden (3–72 Stunden). Vielleicht findet man bei weiterer Dif-

ferenzierung der Methode noch bessere Bedingungen, um die gesunden Zellen zu schützen. Diese Experimente sind in ihrer Reproduzierbarkeit und der Selektivität genügend aussagekräftig und in Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen bezüglich der Selektivität und Wahl der Parameter. Das rechtfertigt weitere Untersuchungen, auch im Hinblick darauf, ob bei anderen Zellarten ein ebensolches selektives Abtöten erfolgen würde.

Quelle:

Crocetti S, Beyer C, Schade G, Egli M, Fröhlich J, et al. (2013): Low Intensity and Frequency Pulsed Electromagnetic Fields Selectively Impair Breast Cancer. Cell Viability, PLoS ONE 8 (9), e72944; doi:10.1371/journal.pone.0072944

Statische Felder und Röntgenstrahlen

Wechselwirkung von SMFs und Röntgenstrahlen

Die Wirkung statischer Magnetfelder (SMF) auf die Radikalbildung in Lebewesen ist seit 1969 bekannt und seitdem in immer besseren Experimenten bestätigt worden. Hier wurde untersucht, wie sich eine Kombination von statischen Magnetfeldern und Röntgenstrahlen auf Lymphozyten auswirkt. Je nach den gewählten Parametern waren signifikante Unterschiede zu sehen, sogar entgegengesetzte Trends.

Elektromagnetische Felder verändern die Konzentration der beim Stoffwechsel anfallenden und von außen einwirkenden freien Radikale, z. B. erfolgt Peroxidation der Lipide in den Zellmembranen. Eine weitere physikalische Einwirkung, die Radikale produziert, ist ionisierende Strahlung. Wie die Kombination von elektromagnetischen Feldern mit ionisierender Strahlung wirkt, sollte hier untersucht werden, da ionisierende Strahlung in medizinischer Therapie und Diagnostik eingesetzt wird und wir nicht-ionisierenden elektromagnetischen Feldern heute unvermeidlich ausgesetzt sind. Das Ziel dieser Studie war zu untersuchen, wie sich die Kombination von statischen Magnetfeldern und Röntgenbestrahlung auf die ROS-Produktion auswirkt. Die Experimente wurden mit Lymphozyten von jungen Ratten durchgeführt, untersucht wurden 3–8 Proben aus den gemischten Lymphozyten-Suspensionen. Die Lymphozyten wurden in 6 Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: Röntgenstrahlen und 0 mT SMF

Gruppe 2: Röntgenstrahlen und 5 mT SMF

Gruppe 3: Röntgenstrahlen und Erdmagnetfeld

Gruppe 4: 0 mT SMF

Gruppe 5: 5 mT SMF

Gruppe 6: nicht exponiert, nur Erdmagnetfeld

Die Röntgenbestrahlung dauerte 5 min. 20 Sekunden mit 150 kV bei 15 mA (effektive Strahlung 50 keV; Dosis 3 Gy, Dosisrate 560 mGy/min.), danach erfolgte die Magnetfeld-Behandlung. Das 0 MF wurde innerhalb einer Helmholtzspule durch ein 50- μ T-Induktionsfeld erzeugt, entgegengesetzt zum Erdmagnetfeld zu dessen Kompensation. Unmittelbar vor und sofort nach der Behandlung der Zellen sowie 15 min., 1 und 2 Stunden danach wurde die ROS-Bildung gemessen. Das Experiment wurde einmal wiederholt und beide wurden zusammen ausgewertet. Die Anzahl der lebenden Zellen wurde immer überwacht, sie war nie unter 95 %. Die Röntgenbestrahlung steigerte die ROS-Produktion auf 340 % im Vergleich zu den nicht exponierten Proben. Die Wirkung war in