

dothelzellen und die Angiogenese. Durch die PMFs wird die Kommunikation zwischen den Zellen erhöht und dadurch wird Wachstum und Ausbreitung der Endothelzellen weiter gesteigert. Obwohl VEGF der am weitesten verbreitete Zellteilungsfaktor der Endothelzellen ist, war keine Veränderung in der VEGF-Konzentration zu finden. Das bedeutet, dass VEGF nicht verantwortlich für die PMF-Wirkung der Herzmuskelzellen auf die Endothelzellen ist, sondern die etwa doppelte Ausschüttung von FGF-2 aus den mit den gepulsten Magnetfeldern behandelten Herzmuskelzellen. Die PMFs scheinen nicht nur für die Ausschüttung von FGF-2 zu sorgen, sondern es wirken noch andere Proteine oder Zytokine mit, die an der Zellteilung beteiligt sind. Neben der direkten (autokrinen) Wirkung auf die Zellteilung der Endothelzellen haben die gepulsten Magnetfelder auch eine indirekte Wirkung durch Eingreifen in die parakrine interzelluläre Kommunikation zwischen Endothel- und Herzmuskelzellen. Die Ergebnisse zeigen nicht nur einen neuen Mechanismus der PMF-Wirkung, sondern bieten auch eine mögliche Anwendung bei der Behandlung von Herzmuskelerkrankungen und krankhafter Herzhypertrophie.

Quelle:

Li F, Yuan Y, Guo Y, Liu N, Jing D, Wang H, Guo W (2015): Pulsed Magnetic Field Accelerate Proliferation and Migration of Cardiac Microvascular Endothelial Cells. *Bioelectromagnetics* 36, 1–9

Niederfrequenzwirkung

Elektromagnetische Felder beeinflussen den Zellzyklus

Eine Zelllinie von menschlichen Hautzellen (Keratinozyten, HaCaT-Zellen) wurde 144 Stunden mit 60 Hz und 1,5 mT behandelt. Die Magnetfelder bewirkten eine Hemmung des Zellzyklusses in der G1-Phase und geringe Koloniebildung. Die Ergebnisse mehrere Experimente deuten darauf hin, dass die Magnetfelder über die Aktivierung der ATM-Chk2-p21-Signalkaskade die Zellvermehrung hemmen.

Haut-Keratinozyten eignen sich besonders als Studienobjekte, weil sie direkt dem Umweltstress ausgesetzt sind. Hier wurden verschiedene Experimente durchgeführt, um den Mechanismus herauszufinden, wie Magnetfelder die Zellteilung beeinflussen. Vom ATM-Chk2-p21-Signalweg ist bekannt, dass er in den HaCaT-Zellen durch Magnetfelder beeinflusst wird (die ATM-Chk2-p21-Signalkaskade spielt bei der Reparatur der DNA-Schädigung eine Rolle, das Protein 21 (p21) ist ein Regulator für das Fortschreiten der Zellteilung in der G1-Phase, die Red.). Die Überlegung ist, dass die Magnetfelder diesen Signalweg aktivieren und dadurch die Zellteilung gehemmt wird.

Die Zellkulturen der HaCaT-Zelllinie wurden alle in demselben Brutschrank gehalten, in dem die Magnetfeldbehandlung erfolgte. Die Scheinexposition erfolgte in einer mit mu-Metall abgeschirmten Box, die zur Luftzirkulation im gesamten Inkubator 116 Löcher von 1 cm Durchmesser hatte. Als interne Kontrollen des Systems gab es 2 identische scheinbefeldete Zellkulturen. Zu Beginn standen alle Zellen in den mu-Metall-Boxen, nach und nach wurden jeweils die Kulturen zur Befeldung für 96, 72, 48, 12, 8 und 4 Stunden entnommen. Die positive Kontrolle bestand in 8 Stunden UVB-Strahlung bei 233 J/m². Die Hintergrundfelder betragen bis

1,15 µT aufgrund der Felder des Inkubators, der Heizung und des Thermostats.

Bei Zellwachstum und Koloniebildung waren nach 96 Stunden keine Unterschiede zu sehen. Es wurden aber 6 veränderte Gene identifiziert, die mit der Zellteilung zu tun haben. Deshalb wurden die Zellen auch nach 120 und 144 Stunden untersucht. Die veränderten Gene wurden als solche bezeichnet, wenn sie mindestens den 1,3-fachen Unterschied zu den Kontrollen hatten. Ein Gen war hoch-, die anderen 5 herunterreguliert. Sie waren ähnlich reguliert nach 96, 120 und 144 Stunden Magnetfeld-Exposition. Die scheinbefeldeten Zellen wuchsen nach 96 Stunden exponentiell bis 144 Stunden weiter, während bei den exponierten das Zellwachstum abnahm und nach 144 Stunden signifikant geringer war (68,3 % ± 8,46 % der scheinexponierten Zellen). Die Hemmung des Zellwachstums ist auf die Magnetfeldbehandlung zurückzuführen. Nach 144 Stunden war auch die Koloniebildung der exponierten Zellen signifikant geringer, sie erreichten nur 77,80 % ± 3,88 % der Kontrollen. Zu dem Zeitpunkt waren die Magnetfeld-exponierten Zellen zu 78,82 ± 1,57 % in der G0/G1-Phase, die Kontrollen nur zu 56,02 ± 0,94 %. Nach 144 Stunden fand ein Zellteilungsstopp in der G1-Phase statt.

Die Proteinuntersuchung und die Zellteilungsanalyse ergaben, dass die exponierten Zellen mehr Protein 21 (p21) produzierten als die Kontrollen; das ist ein Regulator für das Fortschreiten der Zellteilung in der G1-Phase. Die höhere Konzentration deutet darauf hin, dass p21 für die Hemmung der Zellteilung in der G1-Phase verantwortlich ist. Die Aktivierung von p21 erfolgt über den ATM-Chk2-p21-Signalweg, das wurde mit verschiedenen Methoden nachgewiesen.

Quelle:

Huang CY, Chang CW, Chen CR, Chuang CY, Chiang CS, Shu WY, Fan TC, Hsu IC (2014): Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Cause G1 Phase Arrest through the Activation of the ATM-Chk2-p21 Pathway. *PLoS ONE* 9 (8), e104732; doi:10.1371/journal.pone.0104732

Nieder- und Hochfrequenzmessungen

Elektromagnetische Felder in Haushalten 2006–2012

Diese Folgestudie aus Niederösterreich erhob Daten in 2012 zu Feldstärken im Nieder- und Hochfrequenzbereich und vergleicht sie mit den Daten von 2006–2009. In den wiederbesuchten Räumen verringerten sich die niederfrequenten Felder von 23,20 in 2006 auf 13,90 V/m in 2012, die Mittelwerte der 50-Hz-Magnetfeldmessungen über Nacht von 13,50 auf 11,37 nT. Der Mittelwert aller Hochfrequenzfelder stieg an, in städtischen Gebieten stärker als in ländlichen. Der höchste Anstieg war bei UMTS und WLAN zu verzeichnen. In Gebäuden wurden geringere DECT-Werte gemessen. LTE bei 2600 MHz war an 17 Stellen zu finden mit maximaler Feldstärke von 38,20 µW/m².

In 2006 wurden in Niederösterreich in 226 Schlafräumen die Feldstärken ermittelt, in 2009 wurden die Messungen in einem Teil der Haushalte wiederholt. Schon damals waren die Hochfrequenzfelder angestiegen, deshalb wurde bei den erneuten Messungen in 2012 weiter angestiegene Felder erwartet, weil UMTS und LTE weiter verbreitet sind, während im 50-Hz-Bereich kaum Veränderungen erwartet wurden. Nie-

derfrequente Felder entstehen am Bett vor allem durch Wecker, Lampen und die Stromversorgung im Haus, Veränderungen ergeben sich durch zusätzliche Geräte oder durch kleinere dezentrale Stromerzeuger.

Von den 226 Haushalten von 2006 und sollten 113 in 2009 und 2012 erneut gemessen werden, dazu 44 neue Haushalte aus der Umgebung. Für die Messungen in 2012 kamen weitere 62 Haushalte hinzu, damit eine gleich große Anzahl von 219 zusammenkam, die vor allem in städtischem Gebiet liegen sollten. Die Haushalte wurden in die Kategorien Kleinstadt, Innenstadt, Stadtrand und ländliches Gebiet eingeteilt. Eine Frage war, ob es regionale Unterschiede gibt. Die Kurzzeitmessungen (Maximalwerte) wurden zwischen 50 und 2000 Hz durchgeführt, die 16 2/3 Hz-Messungen (Eisenbahn) und die Nacht-Messungen, auch 50–2000 Hz, wurden von 22.00–06.00 Uhr aufgezeichnet. Die Hochfrequenzmessungen reichten von Radio über Fernsehen und Mobilfunk bis LTE (87,5 MHz bis 2690 MHz).

Bei den Messungen an den identischen Plätzen in 2006, 2009 und 2012 ergab sich eine Verringerung des Medians bei Niederfrequenz von 23,2 auf 16,4 und 13,9 V/m, es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen Kleinstädten, städtischen und ländlichen Gebieten, während bei den neu hinzugekommenen Haushalten 28,15 V/m gemessen wurden.

Die Reduktion der Felder von 2006 auf 2009 war auf Rückschlüsse zurückzuführen, wie die Felder durch einfache Maßnahmen verringert werden können. Deshalb war der Unterschied größer als zwischen 2009 und 2012, weil bis 2009 alle leicht zu ergreifende Maßnahmen getan worden waren. Die weiteren Maßnahmen erforderten mehr Aufwand. Auch die elektrischen Felder haben abgenommen in den 6 Jahren, zwischen 2006 und 2009 stärker als bis 2012, vor allem durch Maßnahmen wie Abstand und Phasenänderung.

Die Mittelwerte der Magnetfelder in den Haushalten veränderten sich auch in den 6 Jahren. Die Nacht-Messungen der Zuglinie zeigten eine Abnahme des arithmetischen Mittelwertes, jedoch einen Anstieg des Median-Wertes von 2006–2012. Das heißt, dass die Maximalwerte in 2012 geringer sind, aber die Zahl der Signale von 22 bis 6 Uhr anstiegen – ein Zeichen für eine Zunahme des nächtlichen Zugverkehrs. Die Kurzzeit- und Über-Nacht-Messungen in den Häusern ergaben in 2012 insgesamt geringere Felder bei den Messungen von 50–2000 Hz.

Die Ergebnisse der Hochfrequenzmessungen zeigten einen Anstieg aller Frequenzen (Median 85,5 %). Die Messwerte in städtischen waren vielfach höher als in ländlichen Bereichen. Besonders bei Mobilfunk und WLAN stiegen die Werte an. 900-MHz-Mobilfunk war in allen Kategorien am stärksten erhöht, UMTS stieg um den Faktor 77,5, Mobilfunk 1800 MHz Faktor 32,5 und WLAN Faktor 10,9 an. TETRA-Funk blieb fast gleich. Die Frequenzen der FM-Radiosender waren stark um 90 % gestiegen.

Der Anstieg vom FM-Radio könnte auf vermehrte private Radiostationen zurückgehen, denn die öffentlichen sind fast gleich geblieben. Analoge Radio-Frequenzen und digitales Fernsehen trugen nur wenig zu den Feldern bei. Der Median vom Downlink des Mobilfunks verdoppelte sich von 2006 bis 2009 (+101,4 %), hauptsächlich durch UMTS. LTE hatte nur einen geringen Anteil, der aber in Zukunft mehr Bedeutung bekommen wird. LTE startete in Österreich erst in 2012, und zwar in den Innenstädten. Deshalb waren 12 von 17 Messpunkten in Innen- und Kleinstädten, 5 in ländlichem Gebiet, 3 davon 3 km von größeren Städten entfernt. In Häusern sind die Feldstärken auch aufgrund der höheren Frequenzen gering, da die weniger in Gebäude eindringen.

Vergleicht man die Lage der Haushalte, so zeigt sich, dass mit steigender Bevölkerungsdichte auch die Feldstärken der Mobilfunkfrequenzen steigen, denn in Innenstädten ist die Dichte der Basisstationen höher. Und in höheren Etagen sind die Feldstärken höher. Die Sender der Eisenbahnen hatten nur geringe Feldstärken, da die meisten Haushalte weiter entfernt waren.

Seit 2008 gibt es DECT-Schnurlostelefone, die nur Strahlung abgeben, wenn ein Gespräch geführt wird. Infolgedessen verringerte sich die Strahlung signifikant (24 % Median und 35,2 % arithmetisches Mittel). In 38 der 219 Fälle war der Anteil von DECT an der gesamten Strahlung mindestens 50 %. Bei WLAN waren es mindestens 50 % in 27 von den 219 Haushalten. DECT und WLAN zusammen haben in 70 Haushalten über 50 % Anteil an der Gesamtstrahlung. Das bietet ein hohes Potenzial der Strahlungsreduktion.

In 70 von 219 Fällen waren Geräte im Haus der Grund für mindestens 50 % der Hochfrequenzfelder. Das zeigt, dass man Feldbelastungen zur Vorsorge mit einfachen Maßnahmen reduzieren kann. Die Mobilfunk-Downlink-Signale erhöhten sich von 2009 auf 2012 um 23,4 %, vor allem stark durch UMTS-Basisstationen (+ 127,4 %), aber auch durch 900 MHz (+ 36,5 %). LTE im Bereich 2600 MHz ist nicht weit verbreitet in Niederösterreich, daher sind die Feldstärken geringer als bei den anderen Mobilfunktechnologien.

Quelle:

Tomitsch J, Dechant E (2015): Exposure to Electromagnetic Fields in Households – Trends From 2006 to 2012. *Bioelectromagnetics* 36, 77–85 -

Medizintechnik

Störungen von Herzschrittmachern und Defibrillatoren

In Finnland wurde untersucht, inwieweit Herzschrittmacher und Defibrillatoren durch elektromagnetische Felder im beruflichen Bereich gestört werden können. Beide Gerätearten wurden im Labor und mit Freiwilligen bei Frequenzen zwischen 2 Hz und 1 kHz und verschiedenen Magnetfeldstärken und Wellenformen getestet. Störungen durch die Magnetfelder kommen auch unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte vor.

Weil die Zahl der jüngeren Menschen zunimmt, die einen Herzschrittmacher oder Defibrillator implantiert bekommen, steigen auch mögliche Probleme mit Störungen der Geräte im beruflichen Bereich. Die Störgrößen am Arbeitsplatz und welche Wellenform besonders zu Störungen neigt, ist aber nicht genau bekannt. Das Ziel dieser Studie war, am Menschen und im Labor zu ermitteln, bei welchen Frequenzen, Wellenformen und Feldstärken gängige Schrittmacher und Defibrillatoren gestört werden.

Im Labor (in vitro) wurden 16 Schrittmacher und 17 Defibrillatoren verschiedenen Feldern zwischen 2 Hz und 1 kHz, die mit einer Computer-kontrollierten Helmholtzspule erzeugt wurden, ausgesetzt. Die Wellenformen waren sinus-, sägezahn- und rechteckförmig sowie gepulst. Zudem wurden 11 Freiwillige mit Herzschrittmacher und 13 mit implantiertem Defibrillator Magnetfeldern zwischen 2 und 200 Hz bei ähnlichen Wellenformen und Befeldungssystemen wie im Labortest und verschiedenen Feldstärken bis zu 300 µT untersucht (in vivo). Dazu wurden Geräte aufgestellt, wie sie an Arbeitsplätzen vorhanden sind (eine elektronische Diebstahlsi-