

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

21. Jahrgang / Nr. 1

www.elektrosmogreport.de

Januar 2015

Gepulste niederfrequente Magnetfelder

Wirkung von gepulsten Magnetfeldern auf Herzzellen

An isolierten Endothelzellen der Herz-Kapillaren und Herzmuskelzellen von Ratten wurde untersucht, ob gepulste Magnetfelder eine direkte oder indirekte Wirkung auf Wachstum und Ausbreitung der Zellen haben. Gepulste Magnetfelder von 15 Hz und 1,8 mT beschleunigten Wachstum und Wanderung der Endothelzellen, die Zellen sonderten 1,5-fach mehr Endothelwachstumsfaktor (VEGF) und doppelt so viel Fibroblastenwachstumsfaktor (FGF-2) ab. Die gepulsten Magnetfelder haben auch einen Einfluss auf die Kommunikation zwischen den Endothel- und den Herzmuskelzellen, der teilweise von FGF-2 abhängt, aber unabhängig von VEGF ist.

Herzversagen ist weltweit eine häufige Todesursache als Folge verschiedener Herzkrankheiten. Pathologische Hypertrophie (Vergrößerung der Herzmuskelzellen) ist ein Grund. Bei pathologischer Hypertrophie findet man eine geringere Dichte der Kapillaren, während bei physiologischer Hypertrophie eine erhöhte Anzahl von Kapillaren im Herzmuskel zu finden ist. Kürzlich wurde herausgefunden, dass ein Ungleichgewicht zwischen Wachstum der Muskelzellen und der Angiogenese (Neubildung von Blutgefäßen) der Herzkranzgefäße eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der pathologischen Herz-Hypertrophie spielt. Liegt eine Störung des koordinierten Gewebewachstums und der Angiogenese im Herzen vor, führt das langfristig zu Herzversagen. Die Gabe von Wirkstoffen, die die Gefäßbildung anregen, kann die Herzfunktion erhalten. Deshalb kann die Förderung der Angiogenese bei hypertrophem Herzmuskel ein neuer therapeutischer Ansatz zur Vermeidung von Herzversagen sein. Da man die nützliche Wirkung von gepulsten Magnetfeldern bei der Knochenheilung kennt und weiß, dass dabei die Angiogenese der Endothelzellen direkt durch die Ausschüttung vom Fibroblastenwachstumsfaktor β -2 (der wird benötigt bei der Angiogenese, der Vermehrung und Wanderung der Endothel- und Muskelzellen) bewerkstelligt wird, schloss man, dass das auch bei Herzgewebe funktionieren könnte. Für die Angiogenese der Gefäße im Herzen spielen die Endothelzellen der Mikrogefäße eine wichtige Rolle; sie arbeiten dabei mit den Herzmuskelzellen zusammen. Kürzlich konnte bei Ratten gezeigt werden, dass gepulste Magnetfelder (PMFs) die Angiogenese günstig beeinflussen, wodurch die Herzkammerfunktion verbessert und die Infarktstärke vermindert wird.

Um die PMF-Wirkung auf die Herzmuskel-Angiogenese und die Mechanismen sowie die Wechselwirkung zwischen Herzmuskelzellen und Endothelzellen (CMECS) besser zu

verstehen, wurden Magnetfeld-Pulse (15-Hz, 1,8 mT) eingesetzt. Für den Test auf das Wachstum der Endothelzellen betrug die Befeldung 2 Stunden/Tag 5 Tage lang (3 Wiederholungen), für die Herzmuskelzellen 2 Stunden/Tag für 3 Tage. Zudem wurden Überlebensrate und Apoptose der Zellen bestimmt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die PMFs keinen signifikanten Einfluss auf Überlebensrate und Apoptose der Endothelzellen und Herzmuskelzellen hatten. Die Vermehrung der Endothelzellen erfuhr jedoch eine signifikante Steigerung durch die PMFs, die nach 24 Stunden begann. Im Vergleich zur Kontrolle war der Anteil der Zellen in der G0/G1-Phase signifikant vermindert und in der S- und G2/M-Phase signifikant gestiegen ($25,32 \pm 4,89\%$ vs. $14,59 \pm 2,98\%$, $13,34 \pm 2,79\%$ vs. $6,79 \pm 3,35\%$). Die Zellen, die mit PMFs behandelt worden waren, wanderten signifikant schneller als die unbehandelten ($74,97 \pm 6,56\%$ vs. $47,27 \pm 2,94\%$, $29,52 \pm 3,03$ vs. $16,47 \pm 2,82\%$).

In den mit PMFs behandelten Endothelzellen stiegen VEGF und der FGF-2 im umgebenden Medium der Zellen signifikant an gegenüber den unbehandelten Kontrollen. Die durch die PMFs stimulierte Ausschüttung dieser Angiogenesefaktoren aus den Endothelzellen scheint der Grund für die gesteigerte Zellvermehrung und -wanderung zu sein. In den Herzmuskelzellen war die Ausschüttung von FGF-2 nach 2 Tagen PMF-Behandlung auch signifikant angestiegen, VEGF dagegen nicht. Zellwachstum und -wanderung der Endothelzellen wurden durch die Herzmuskelzellen beschleunigt, und die PMFs verstärkten das noch.

Die PMFs bewirken somit nicht nur eine direkte Beschleunigung von Zellvermehrung und -wanderung, sondern auch eine indirekte durch Abgabe der Wachstumsfaktoren aus den Zellen in die Umgebung der Endothelzellen (parakrine Wirkung). Die gepulsten Magnetfelder führten zudem zu einer Verdoppelung der Konzentration von FGF-2 in den Herzmuskelzellen, so dass das Wachstum der Endothelzellen weiter gesteigert wurde.

Die Kommunikation zwischen den Endothel- und den umgebenden Herzmuskelzellen reguliert das Wachstum der En-

Weitere Themen

Magnetfelder und Zellzyklus, S. 2

60-Hz-Magnetfelder hemmen die G1-Phase der Zellteilung durch Aktivierung der ATM-Chk2-p21-Signalkaskade.

Magnetfelder in Haushalten, S. 2

Erneute Messungen in Niederösterreich zeigen einen Anstieg der Feldstärken vor allem bei WLAN und Mobilfunk.

Herzschrittmacher und Defibrillatoren, S. 3

Störungen durch Mikrowellen treten unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte vor allem bei unipolaren Geräten auf.

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-