

Wirkung von 900-MHz-Strahlung auf die Zellteilung

Die regelrechte Funktion des Spindelapparates ist bei Zell-Hybriden aus Hamsterzellen und menschlichen Zellen gestört, wenn die elektrische Komponente (E-Feld) von 900-MHz-Strahlung während der Zellteilung einwirkt. Das Magnetfeld (H-Feld) hatte keine Auswirkungen. Es ist eine nicht-thermische Wirkung, die in die letzten Phasen der Zellteilung eingreift.

Frühere Untersuchungen hatten bei 835 MHz (20–90 V/m) Störungen bei der Zellteilung ergeben, bedingt durch das Eingreifen in die Funktion des Spindelapparats. Weitere Untersuchungen hatten gezeigt, dass das halbstündige Einwirken von 90 V/m eine (das ist die Hälfte einer Zellteilungs-Runde) die Funktion des Spindelapparates in Ana- und Telophase stört. Das kann zu ungleicher Verteilung der Chromosomen führen, aber nicht zu Chromosomenschäden, wie es bei ionisierender Strahlung der Fall ist. Da Chromosomenschäden aber trotzdem nachgewiesen wurden, müssen dem andere Mechanismen zugrunde liegen als bei ionisierender Strahlung. Ein möglicher Mechanismus ist die Störung des Spindelapparates, dafür kann sowohl die elektrische als auch die magnetische Komponente verantwortlich sein. Diese Arbeit sollte einen Beitrag zur Aufklärung der Mechanismen leisten. Für die Tests wurden so genannte FC2-Zellen verwendet, eine Zelllinie, die das Chromosom 11 aus menschlichen Zellen und Chromosomen aus dem Eierstock vom Hamster enthält. Die Zellen waren eine halbe Stunde lang SAR-Werten zwischen 10,7–17,2 mW/kg ausgesetzt, bei 20 °C und 37 °C. Entweder wirkte das E- oder das H-Feld ein unter verschiedenen Bedingungen (moduliert und unmoduliert, stehende Wellen u. a.). Bei den Kontrollen erfolgte keine Hochfrequenzwirkung, aber das Gerät war eingeschaltet.

Die Anzahl der Mitosen war bei 37 °C höher als bei Raumtemperatur (20 °C). Es gab kaum einen Einfluss der Temperatur auf die Funktion des Spindelapparates. Aber durch das E-Feld wurde die Funktion des Spindelapparates signifikant beeinträchtigt, während das H-Feld kaum Unterschiede zur Kontrolle zeigte. Bei 90 V/m ist die Zahl der Spindelstörungen in der Ana- und Telophase doppelt so hoch wie bei 45 V/m. Die meisten Störungen bestanden in fehlender und/oder verzögerter Trennung der Chromosomenpaare (Aneuploidie). Aneuploidie ist oft in Tumorzellen zu finden, man weiß aber nicht, ob sie die Ursache oder die Folge der Krebsentstehung ist. Solche Reaktionen sind auch bei Pflanzen unter Einwirkung von 900 MHz gefunden worden. Chemikalien benötigen übrigens mindestens 2 Stunden, um ähnliche Spindelstörungen zu erreichen. Da der Spindelapparat Mikrotubuli-Fasern enthält, die elektrisch geladene Protein-Dipole sind und durch ständiges Binden (Polymerisation) und Lösen (Depolymerisation) äußerst instabil sind, kann man annehmen, dass eine von außen einwirkende elektrische Kraft wie das E-Feld der HF-Strahlung das Gleichgewicht in den Proteinen stören kann. Die Ergebnisse sind ein erster Schritt zum Verständnis der Mechanismen, die der Hochfrequenzwirkung auf den Spindelapparat zugrunde liegen.

Quelle:

Schrader T, Kleine-Ostmann T, Münter K, Jastrow C, Schmid E (2011): Spindle Disturbances in Human-Hamster Hybrid (A_L) Cells Induced by the Electrical Component of the Mobile Communication Frequency Range Signal. *Bioelectromagnetics* 32, 291–301

Wirkung elektrischer Felder auf Hautzellen

Viele Gene von menschlichen Hautzellen werden durch Einwirkung elektrischer Felder in ihrer Aktivität verändert. Fünf der hier untersuchten Gene, die signifikant verändert waren, sind an Zellwachstum und Zelldifferenzierung beteiligt. Die Zelldifferenzierung wird beschleunigt auf Kosten des Zellwachstums.

Die Arbeitsgruppe hat in der Vergangenheit viele Experimente zur Heilung von Knochen und Knorpel durchgeführt und beobachtet, dass die Heilung verbessert wird durch Beschleunigung der Differenzierung des Knorpelgewebes und der Knochenbildung. Diesmal sollte die Wirkung von elektrischen Feldern an einem einfachen Modell, menschlichem Hautgewebe, untersucht werden und mit Hilfe der Gentechnik die Genaktivitäten der beteiligten Gene bestimmt werden. Von 3 verschiedenen Patienten wurden je 2 Hautstücke abgetragen und in einem Kulturmedium gehalten, das fast physiologische Entwicklung ermöglicht. Von jedem Paar wurde ein Stück täglich 40 Minuten 11 Tage lang elektrisch stimuliert (275 V/m, 20 % des Stroms gehen durch das Hautgewebe, 80 % durch das Nährmedium), das andere Stück diente als Kontrolle. Die Trägerfrequenz von 40 Hz wurde mit 0,125 Hz moduliert, der stimulierende Impuls dauerte 4 s, danach folgten 4 s Pause. An den Tagen 4, 7 und 12 während der Bestrahlung wurden Proben für die Bestimmung der Genaktivität entnommen. Insgesamt wurden 38.500 Gene untersucht (Mikroarray) und ausgewählte Gene mit einer anderen Methode (rtPCR) überprüft (es ergab sich gute Korrelation).

Die stimulierten Kulturen zeigten eine Verminderung der Wachstumszone, die die Gewebestücke umgibt, und mehr Gewebeschichten. Es fanden weniger Zellteilungen statt, dafür differenzierten die Zellen schneller aus. Das sind die gleichen Befunde, die an Knochengewebe gefunden werden: schnellere Reifung des Knorpels und Beschleunigung der Verknöcherung nach Behandlung mit elektromagnetischen Feldern. Damit werden viele Experimente an Zell- und Gewebekulturen und an lebenden Menschen und Tieren unter Anwendung derselben Art von elektrischen Signalen bestätigt.

Nach der statistischen Analyse waren 1131 Gene der Kontrollgruppe und 471 der stimulierten im betrachteten Zeitraum aktiv. Sie wurden in 9 Gruppen nach ihrem Expressionsverhalten eingeteilt. Bei der Kontrolle waren 2 Gruppen (Cluster), die 19 und 99 Gene enthielten, über die Zeit hochreguliert. 2 andere Gruppen (29 und 76 Gene) waren niederreguliert. Bei den EF-Proben gab es 2 Gruppen mit 11 bzw. 41 hochregulierten Genen und 2 (6 bzw. 24 Gene), die niederreguliert worden waren. In den 15 Tagen der Kulturdauer gab es keine Temperaturänderungen. Die Anzahl der Gene, bei denen die Genregulation an den verschiedenen Tagen verändert war im Vergleich zu Tag 1 sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

	Kontrolle/Kontrolle		Stimulierte/Kontrolle	
	↑	↓	↑	↓
Tag 4	93	203	315	626
Tag 7	389	313	228	397
Tag 12	397	609	441	505

Die 2. Tabelle zeigt die Anzahl der veränderten Genregulation nach EF-Stimulierung im Vergleich zur Kontrolle:

	Tag 4	Tag 7	Tag 12
hochreguliert	39	30	237
niederreguliert	265	190	259

Als signifikant regulierte Gene wurden 4 hochregulierte, die Thioredoxin reductase 1 (TXNRD1), der Activating transcription factor 3 (ATF3), die Membrane metallo-endopeptidase (MME) und Dickkopf Homolog 1 (DKK1) identifiziert. Ein weiteres Gen, der microtubule-actin cross-linking factor 1 (MACF1) war niederreguliert worden gegenüber den Kontrollen.

Die biologische Funktion der betreffenden Gene bestätigte die makroskopisch erhobenen Befunde: Eine Beschleunigung der Differenzierung auf Kosten des Zellwachstums. Die Analyse der Genexpression nach den 3 Stimulationszeiten im Vergleich zu den jeweiligen Kontrollen zeigt, dass die 3 Gene TXNRD1, ATF3, MME während der gesamten Stimulationszeit hochreguliert sind, alle sind an Zellwachstum und -differenzierung beteiligt. ATF3 z. B. steigert die Konzentration im Differenzierungsprozess der Knorpelzellen und MME stoppt die Zellteilung in der G1-Phase (einem wichtigen Kontrollpunkt des Zellwachstums) und ist beteiligt an der Verminderung des Zellwachstums. DKK1 und MACF1 werden aktiviert bei verschiedenartigen Stresseinwirkungen aus der Umwelt wie UV- oder γ -Strahlung und bei Entzündungen. Sie wirken auf den so genannten Wnt-Signalweg ein, der durch Impulse von außerhalb der Zelle angeschaltet wird. Veränderungen im Wnt-Signalweg sind u. a. an der Krebsentstehung beteiligt. Keiner der Befunde ist als krankhaft zu bezeichnen, sagen die Autoren, aber durch die Aktivierung der normalen physiologischen Prozesse können sie therapeutischen Nutzen haben – wenn die Beschleunigung des Zellwachstums nützlich ist, z. B. zur Beschleunigung der Knorpelzellreifung vor der Verknöcherung.

Quelle:

Collard JF, Mertens B, Hinsenkamp M (2011): InVitro Study of the Effects of ELF Electric Fields on Gene Expression in Human Epidermal Cells. *Bioelectromagnetics* 32, 28–36

Hochfrequenzwirkung auf Bienen

Mobilfunkstrahlung ändert das Verhalten von Honigbienen

Das Verhalten von Honigbienen unter Einwirkung von Mobilfunkstrahlung verändert sich in der Weise, dass die Arbeiterinnen vermehrt Piepstöne abgeben. Diese Signale senden die Bienen unter natürlichen Bedingungen aus, wenn das Schwärmen bevorsteht oder die Kolonie gestört wird.

Honigbienen sind unentbehrliche „Mitarbeiter“ in der Landwirtschaft. Man hat ausgerechnet, dass sie weltweit Arbeit im Wert von 153 Milliarden Euro leisten (2005). Aufgezeichnete Bienensterben hat es im 19. und 20. Jahrhundert mehrere gegeben, verschiedene Ursachen werden dafür diskutiert: Varroa-Milbe, Pestizide, Viren, Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis, Monokulturen, Hygiene im Bienenstock und Klimafaktoren sind die häufigsten. Aber auch Stress durch Trockenheit oder zu hohe Dichte der Tiere und damit verbunden Immunschwächung, genetisch veränderte Pflanzen und Kombinationen verschiedener Faktoren werden in Betracht gezogen. Seit 2003–2004 tritt plötzlich ein neues Symptom auf der ganzen Welt auf, das als Kolonie-Zusammenbruch (colony

collapse disorder = CCD) bezeichnet wird. Zuerst sind die Arbeiterinnen betroffen, wodurch die Kolonie verarmt und letztendlich verwaist. Die Königin verlässt den Stock und wird mit der Brut für eine gewisse Zeit weiter versorgt, so dass die Kolonie eine Überlebenschance hat. Über längere Zeit stirbt die Kolonie aus, wenn keine Arbeiterinnen mehr für den Honig sorgen können.

Niemals zuvor sind so viele Bienen weltweit verschwunden wie heutzutage. Neuere Vorstellungen befassen sich mit der Möglichkeit, dass der Anstieg der künstlichen elektromagnetischen Felder die Ursache sein könnte. Experimente hatten ergeben, dass viele Bienen nicht mehr zurückkehren, wenn ein Mobiltelefon im Stock eingeschaltet ist. Honigbienen haben Magnetit-Kristalle in ihren Fettzellen; diese sind aktive Bestandteile der Magnetorezeption zur Orientierung und sie reagieren sehr empfindlich auf geringe Änderungen im Erdmagnetfeld. Bienen kommunizieren außerdem durch chemische und akustische Signale. Letztere wurden in diesen Experimenten zur Bestimmung der Aktivität der Bienen herangezogen. Es sollte untersucht werden, wie Bienen sich in Anwesenheit von Mobilfunkstrahlen verhalten, und man wollte einfache Methoden erstellen, mit denen Bienenzüchter die Experimente nachmachen können.

Bienen von 5 Stöcken wurden von Februar bis Juni 2009 beobachtet. Anfang März beginnen die Bienen mit dem Sammeln von Pollen. Ein Gerät zeichnete die Frequenzen von 70–14.000 Hz auf in mehr als 80 Durchgängen. Zunächst wurden zwei Handys in den Bienenstöcken platziert, um das Verhalten der Bienen zu beobachten. Sie zeigten normales Verhalten und erzeugten normale Geräusche (450–500 Hz). Im Frühling und Frühsommer wurden die Geräusche intensiver, evtl. waren da mehr Bienen aktiv. Dann wurden zwei 900-MHz-Handys mit SAR-Werten von 0,62, 0,71, 0,81 und 0,98 W/kg (unter den gesetzlichen Grenzwerten) in die Stöcke eingebracht. Bei der negativen Kontrolle gab es kein Handy, bei der scheinbestrahlten Kontrolle ein ausgeschaltetes und bei den befeldeten 4–24 Stunden auf „Stand-by“ oder auf „Sprechen“. Die positive Kontrolle bestand in einem Handy im Stock, einem weiteren außerhalb in 60 cm Entfernung und einem dritten, das ständig sendete. Wenn das Handy im Stock eingeschaltet war, reagierten die Bienen nach ca. 30 Minuten mit Tönen höherer Frequenz und Amplitude, nach Abschalten kehrte der normale Zustand in 2–3 Minuten wieder ein. Bei den negativen Kontrollen gab es keine Veränderungen. Bei einem 20-stündigen „Mobilfunkgespräch“ stiegen sowohl Amplitude als auch Frequenz an, beginnend nach 25–40 Minuten. Die von den Bienen produzierten Geräusche von 150–250 Hz mit einer Dauer von ca. 200 ± 51 und 430 ± 103 ms werden als Arbeiterinnen-Piepstöne bezeichnet. Weitere Töne wurden erzeugt zwischen 400 und 500 Hz, Dauer etwa 9 ± 2 ms in gepulster Folge bis zu 2 Minuten, dazu kamen 500 ± 50 Hz, Dauer 75 ± 15 ms sowie $2,250 \pm 250$ Hz, Dauer 225 ± 50 ms. Die Reaktionen der Bienen auf die Handystrahlung waren unabhängig von Position des Stocks, Wetter und Jahreszeit. Solche Töne werden normalerweise im Fall von Störungen (Erschütterungen oder Eindringlinge) erzeugt oder wenn der Schwarm ausfliegen will. In dem Experiment gab es allerdings keinen Start des Schwarms. Bienen sind demnach empfindlich gegenüber Mobilfunkstrahlung. Die in den Bienen enthaltenen Magnetitkristalle in den Fettzellen könnten mit magnetischer Remanenz reagieren. Unter natürlichen Bedingungen reagieren Bienen schon auf Änderungen von 26 nT im Erdmagnetfeld, indem sie verändertes Sammelverhalten zeigen. Weitere Experimente, die diese Vorgänge auf molekularer Ebene untersuchen, sollten zur Klärung der Mechanismen folgen.

Quelle: Favre D (2011): Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie* DOI: 10.1007/s13592-011-0016-x