

Onderzoeksartikel

Cellulaire effecten na blootstelling aan straling van mobiele telefoons en de compensatie ervan

Peter C. Dartsch*1, Timo Dochow2 1. Dartsch Scientific GmbH, Institut für zellbiologische Testsysteme, 49419 Wagenfeld, Germany 2. IfFP Privates Institut für feinstoffliche Forschung und Produktentwicklung GmbH, 83026 Rosenheim, Germany Corresponding author: Prof. Dr. Peter C. Dartsch, Dartsch Scientific GmbH, Institute for Cell Biological Test Systems, Auf der Vosshardt 25, D-49419 Wagenfeld, Germany, Tel: +49 5444 980 1322; E-mail: pc.dartsch@dartsch-scientific.com Received: January 15, 2019; Accepted: February 25, 2019; Published: February 28, 2019

Samenvatting

Het effect van niet-thermische straling op biologische systemen is nog steeds controversieel. In deze huidige studie onderzochten we de niet-thermische effecten van een actief zendende 1800 MHz mobiele telefoon op gekweekte bindweefselfibroblasten (L-929). De cel vitaliteit werd morfologisch onderzocht en met behulp van een colorimetrische assay. Voor een blootstellingsperiode van 2 uur gevolgd door een periode van 22 uur van normale incubatie overleefde slechts $8,8 \pm 6,1\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 5$) van de cellen voor totale straling met een intensiteit van $1,8 \text{ W/m}^2$ op het niveau van de cellen en $45,3 \pm 5,3\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 13$) van de cellen overleefde voor niet-thermische straling met een intensiteit van $1,25 \text{ W/m}^2$ op het niveau van de cellen. De blootstelling aan niet-thermische straling werd geproduceerd door een dubbelwandig golfkarton tussen de mobiele telefoon en de cellen te plaatsen. De cel vitaliteit na blootstelling was onafhankelijk van de oriëntatie van de mobiele telefoon, d.w.z. of het scherm of de achterkant naar de cellen was gericht.

Bovendien hebben we een apparaat onderzocht op zijn effectiviteit om de niet-thermische straling van een actief zendende mobiele telefoon te compenseren. Onder dezelfde experimentele omstandigheden als hierboven vermeld, verhoogde het apparaat de cel vitaliteit tot $82,4 \pm 7,5\%$ ($n = 6$) of door het aanvullende gebruik van een specifieke mobiele telefoonhoes tot $95,5 \pm 6,1\%$ ($n = 5$). Het gebruik van een inactief dummy-apparaat veroorzaakte geen beschermend effect ($n = 4$). De resultaten tonen aan dat niet-thermische straling de vitaliteit van gekweekte bindweefselfibroblasten beïnvloedt.

De studie toont ook aan dat dit specifieke apparaat deze straling in grote mate kan compenseren ($> 95\%$).

Trefwoorden: elektromagnetisch veld; 1800 MHz; straling van mobiele telefoons; niet-thermisch effect; oxidatieve stress; L-929; fibroblasten; celdood; celcultuur

Inleiding

Mobiele datacommunicatie is een integraal onderdeel geworden van het dagelijks leven.

Tegenwoordig werken bijna alle technische apparaten met mobiele datatransmissie. Daarom is de elektromagnetische tolerantie van deze technologie een belangrijk onderdeel van huidig onderzoek. In de komende jaren zal het nieuwe 5G-netwerk worden geïmplementeerd. Het effect op mensen is tot op heden nog steeds niet duidelijk. Naast de bekende thermische effecten die gericht zijn op het opwarmen van het lichaamsweefsel, komen ook niet-thermische effecten voor in biologische systemen en zijn al besproken in verschillende publicaties [1-5]. Hoewel het werkingsmechanisme van niet-thermische effecten nog steeds controversieel is [6,7], zijn er enkele innovatieve theoretische benaderingen die nader onderzoek behoeven. In 2011 classificeerde de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) hoogfrequente elektromagnetische velden als potentieel kankerverwekkend (2B) [8].

Sindsdien is de toepassing en uitbreiding van hoogfrequente velden dramatisch toegenomen, dit maakt het de relevantie van eerder onderzoek erg moeilijk in vergelijking met huidige technologische ontwikkelingen. De nieuwste meetmethoden op het gebied van de dosimetrie van het hele lichaam en celbiologie laten de huidige status zien. De huidige normen van de IEEE en de ICNIRP [9,10] zijn nog steeds gebaseerd op de thermische compatibiliteit van biologische organismen.

Het grootste probleem van studies van hele meercellige organismen zoals ratten, muizen, drosophila en andere is de complexiteit van de testsystemen. Er zijn talloze onbekende variabelen die moeilijk vast te stellen zijn.

In tegenstelling tot deze modellen kan de kweek van eukaryotische cellen worden gestandaardiseerd en biedt het de mogelijkheid om verschillende factoren te variëren, afhankelijk van de experimentele behoeften.

Geïnspireerd door deze achtergrond hebben we een studie uitgevoerd om te verduidelijken of hoogfrequente elektromagnetische velden die worden gecreëerd door een commercieel verkrijgbare mobiele telefoon, niet-thermische effecten kunnen veroorzaken op gekweekte bindweefselcellen. Bovendien hebben we ook de vraag bestudeerd of een nieuw gebouwd apparaat in staat zou kunnen zijn om de niet-thermische effecten van mobiele telefoonstraling die biologische systemen beïnvloedt te compenseren, maar niet de thermische effecten of de technische functionaliteit.

Materialen en methoden

Celcultuur

In de huidige studie werden gekweekte bindweefselfibroblasten (cellijn L-929; Leibniz-Institut, Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig, Duitsland) als standaardcellijn voor toxicologische studies genomen bij passages 22 tot 50 gedurende een totale experimentele periode van 8 maanden. Cellen werden routinematig gekweekt in de vochtige atmosfeer van een incubator bij 37 °C en begast met 5% CO₂ en 95% lucht om een constante pH-waarde te verkrijgen. Het kweekmedium was RPMI 1640 met 10% foetaal kalfsserum en standaardhoeveelheden gentamycine. Alle celcultuurreagentia waren van Capricorn Scientific, 35085 Ebsdorfergrund, Duitsland.

Experimenteel ontwerp

Voor de tests werden cellen uit 80 tot 90% confluente massaculturen gezaaid met een dichtheid van 20.000 cellen/well in 24 wells in het middelste deel van een 96-wells plaat

(200 μ L kweekmedium/well). Na 24 uur werd het kweekmedium om celhechting en metabolisatie te garanderen vervangen door 200 μ L/well Leibowitz L-15 medium met 10% foetaal kalfsserum en standaardhoeveelheden gentamycine. Dit kweekmedium garandeert een pH-waarde van 7,4, zelfs bij normale atmosferische omstandigheden. Platen werden overgebracht naar een Cultura M mini-incubator en verder gekweekt bij 37 ± 1 °C zonder CO₂-gasvorming.

Een commercieel verkrijgbare en actief zendende 1800 MHz mobiele telefoon (SAR-waarde 1,510) in continue bedrijfsmodus werd gebruikt om de verschillende testomstandigheden uit te voeren. De stralingsintensiteiten werden gemeten op het niveau van de cellen onder dezelfde omstandigheden als die gebruikt werden voor de assays met een Aaronia Spectran HF-4060 uitgerust met een gekalibreerde oppervlakteantenne van 1 cm². Een intensiteit van 1,8 W/m² werd gemeten voor de actief zendende mobiele telefoon zonder een gegolfd karton en 1,25 W/m² wanneer hetzelfde gegolfde karton als gebruikt voor de celexperimenten werd geplaatst tussen de mobiele telefoon en de cellen.

Bovendien had het karton ook duidelijke effecten op de lokale temperatuur. Bij gebruik van de belichtingstijden zoals in deze studie, veroorzaakte de zendende mobiele telefoon een oppervlaktetemperatuur op het niveau van de cellen van ongeveer 46 °C, maar toen we het karton gebruikten, maten we een waarde van 37,5 tot 38 °C op dezelfde positie. Dus concludeerden we dat ons experimentele ontwerp thermische effecten weglief. De temperatuur in de broedstof werd constant gehouden op 37 ± 1 °C.

Alle tests werden uitgevoerd met niet-blootgestelde controlecellen in een 96-wells plaat onder dezelfde kweekomstandigheden, maar ongeveer 10 meter verwijderd van de actieve mobiele telefoon in een Cultura M mini-broedstof bij 37 ± 1 °C zonder CO₂-gassing. De vitaliteit van de cellen werd gecontroleerd door morfologische observatie van de celculturen en door enzymatische activiteit. Voor dit doel werd celkweekmedium verwijderd en vervangen door 180 μ L vers kweekmedium en 20 μ L XTT (Xenometrix AG, Allschwil, Zwitserland) en gedurende 120 minuten geïncubeerd in de incubator bij 37°C.

XTT is het natriumzout van 2,3-bis[2-methoxy-4-nitro-5-sulfo-fenyl]-2H-tetrazolium-5-carboxyanilide en heeft een gelige kleur. XTT wordt gesplitst in een oranje formazan door een complex cellulair mechanisme dat alleen in levensvatbare cellen voorkomt en gerelateerd is aan NAD(P)H-productie door glycolyse. Daarom correleert de hoeveelheid gevormde formazankleurstof direct met het aantal metabolisch actieve cellen in de kweek [11,12].

Na 120 minuten werd de optische dichtheid gemeten als een differentiële meting $\Delta OD = 450 - 690$ nm na een schudinterval van 4 seconden met behulp van een ELISA-lezer (BioTek Slx808; Bad Friedrichshall; Duitsland).

Statistische analyse

Statistische analyse van alle testassays werd uitgevoerd met behulp van tweezijdige Wilcoxon-Mann-Whitney-test.

Compensatie-apparaat

Er werd een apparaat gebruikt om het potentieel ervan te testen bij het compenseren van de effecten van blootstelling aan straling op bindweefselcelculturen. Dit apparaat wordt commercieel verkocht onder de naam memonizerMOBILE door de fabrikant (Memon bionic instruments GmbH, DE 83026 Rosenheim, Duitsland).

De functie en werkingwijze van het apparaat zijn elders al gedetailleerd beschreven [13] en worden hier alleen vermeld. Kortom, dit apparaat is een meerlagig metamateriaal dat in staat is de niet-thermische effecten van straling te compenseren. Verschillende phyllosilicaten worden gebruikt en hebben hun beschermende functie tegen de invloeden van elektromagnetische velden op biologische systemen al bewezen in verschillende experimenten [14]. Het apparaat heeft afmetingen van 35 x 13 x 0,25 mm (L x B x H) en wordt direct in de buurt van de oplaadaansluiting van de mobiele telefoon of de antenne geplaatst. Natuurlijke eindige impulsrespons (FIR) frequenties worden in levende organismen ondersteund door de resonantiefrequenties van de phyllosilicaten in het infrarood (IR), nabij-infrarood (NIR) en ultraviolet (UV) bereik. Kunstmatige elektromagnetische frequenties blokkeren deze natuurlijke gebieden en kunnen worden gecompenseerd door overeenkomstige resonanties van de phyllosilicaten [15-17].

Voorafgaand aan de experimenten met de memonizerMOBILE zoals hier gepresenteerd, hebben we een reeks gerelateerde experimenten uitgevoerd door een conventionele router te gebruiken als bron van niet-thermische elektromagnetische straling \pm een memonizerWLAN. In deze experimenten werd een actieve en inactieve versie van het apparaat getest op een manier dat de experimentator niet wist wat voor soort apparaat hij testte (blinde studie).

In elk experiment was het gemakkelijk mogelijk om het actieve apparaat te identificeren. Daarom concludeerden we dat het in de hier gepresenteerde experimenten niet nodig lijkt om de opstelling van een blinde studie verder te gebruiken. Daarnaast hebben we ook enkele experimenten uitgevoerd met de memonizerMOBILE door een inactieve dummy te gebruiken om te zien of het materiaal zelf de resultaten zou kunnen beïnvloeden.

Resultaten

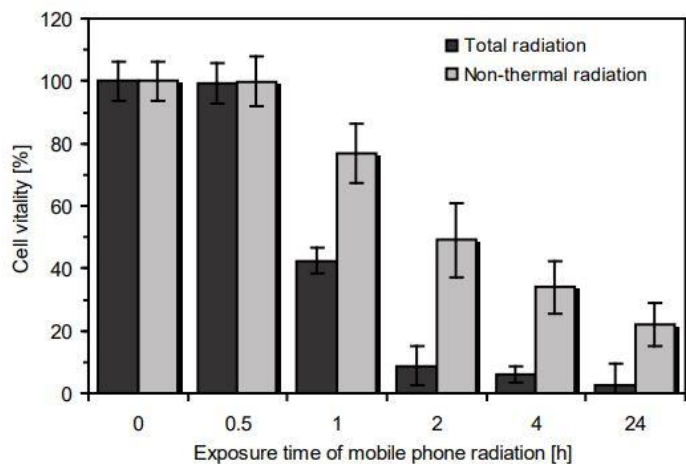
Effect van totale versus niet-thermische mobiele telefoonstraling.

Om het effect van thermische en niet-thermische straling op de cellen te evalueren, werd de actief zendende mobiele telefoon direct op het deksel van de kweekplaat geplaatst zonder en met een dubbele wand golfkarton (dikte: 7 mm) tussen de mobiele telefoon en de cellaag om de invloed van thermische effecten door microgolven te elimineren.

Cellen werden als volgt blootgesteld aan mobiele telefoonstraling:

0,5 uur blootstelling aan straling + 23,5 uur normale incubatie;
 1 uur blootstelling aan straling + 23 uur normale incubatie;
 2 uur blootstelling aan straling + 22 uur normale incubatie;
 4 uur blootstelling aan straling + 20 uur normale incubatie;
 24 uur blootstelling aan straling zonder extra normale incubatie.

De extra normale incubatieperiode zorgt ervoor dat cellulair herstel actief kan worden.

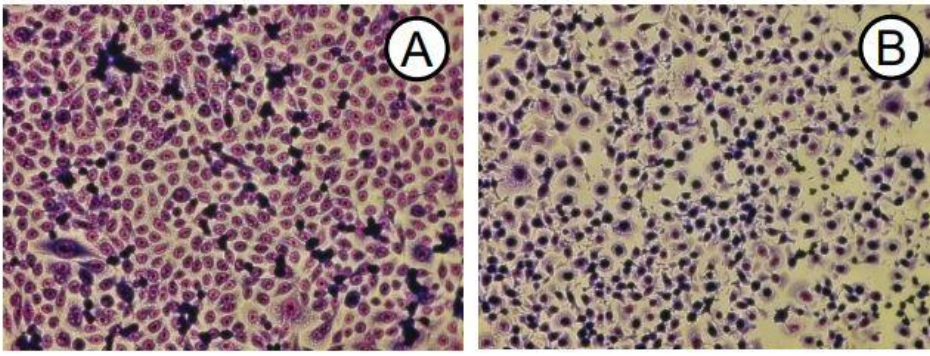


Figuur 1. Effect van totale en niet-thermische straling van een actief zendende mobiele telefoon op bindweefselcellen in cultuur. Gegevens vertegenwoordigen gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie (n = 5 en 13).

Zoals afgebeeld in Figuur 1 was het totale effect van straling op de celvitaliteit tijdsafhankelijk wanneer de actief zendende mobiele telefoon direct op het deksel van de kweekplaat werd geplaatst. Bij blootstellingstijden ≥ 1 uur was de verminderde celvitaliteit statistisch significant in vergelijking met onbehandelde controle en met het niet-thermische stralingseffect ($p < 0,01$; Wilcoxon-Mann-Whitney-test). De ET50, d.w.z. de blootstellingstijd die 50% verlies aan celvitaliteit veroorzaakte, werd berekend op 0,75 uur en de celvitaliteit voor een blootstellingstijd van 2 uur (die in verdere experimentele benaderingen werd genomen) was $8,8 \pm 6,1\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; n = 5).

Onderzoek naar het niet-thermische stralingseffect door een dubbelwandig golfkarton tussen actieve mobiele telefoon- en cellagen te plaatsen, veroorzaakte ook een tijdsafhankelijk verlies aan celvitaliteit, maar de tijdsvitaliteitscurve nam veel langzamer af. De ET50 werd dus berekend op ongeveer 2 uur en de celvitaliteit voor een blootstellingstijd van 2 uur was $45,3 \pm 5,3\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; n = 13). De verminderde celvitaliteit was ook statistisch significant ($p < 0,01$) bij blootstellingstijden ≥ 1 uur.

Morfologisch onderzoek van blootgestelde cellen toonde vergelijkbare veranderingen in celvorm als al beschreven voor draadloze DECT-basisstraling op 1,885 GHz [13], zoals celfroning, loslating en intracellulaire vacuolisatie, wat gerelateerd zou kunnen zijn aan oxidatieve stress (Figuur 2), wat ook werd gevisualiseerd door time-lapse videomicrografie (niet afgebeeld).

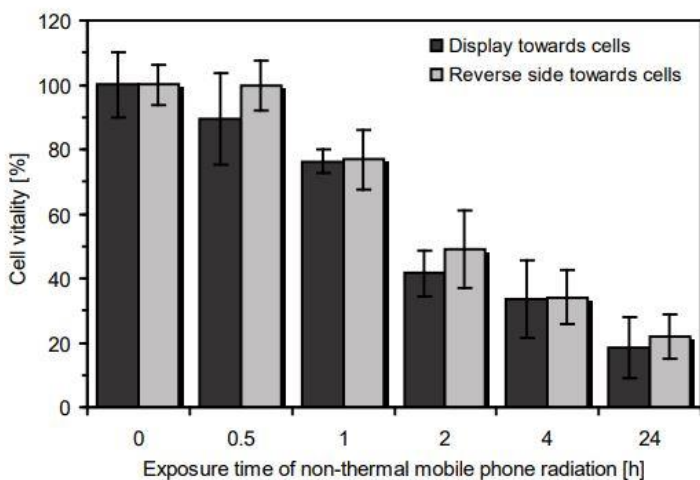


Figuur 2. Morfologische veranderingen waargenomen in bindweefselfibroblasten na 2 uur blootstelling aan niet-thermische straling gevolgd door 22 uur normale incubatie (B) in vergelijking met onbehandelde celculturen (A). Cellen werden gekleurd met Coomassie-Giemsa-oplossing. Helderveldmicroscopie met een Olympus IX50 omgekeerde microscoop uitgerust met een Olympus 20x Planachromaat en een Olympus E-10 camera op 4 megapixels.

Effect van de oriëntatie van de mobiele telefoon

Op basis van de resultaten die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven, hebben we dezelfde straling en aanvullende normale incubatieparameters gebruikt met het dubbelwandige golfkarton tussen de actieve mobiele telefoon en cellagen. In één experimentele serie werd het display van de mobiele telefoon echter naar de onderliggende cellagen geplaatst en in een tweede serie werd de achterkant van de mobiele telefoon naar de cellen gericht. De aanleiding voor deze experimenten was om te onderzoeken of het display, dat behoorlijk heet wordt wanneer de mobiele telefoon actief uitzendt, ook zowel thermische als niet-thermische straling zou kunnen verhogen.

Zoals weergegeven in figuur 3, was er geen significant verschil tussen beide oriëntaties van de mobiele telefoon, wat aangeeft dat het display voornamelijk microgolven en kleine niet-thermische straling uitzendt. Daarom werd de actieve mobiele telefoon, voor eenvoudiger hanteren, in verdere experimenten altijd met de achterkant naar de cellagen geplaatst.



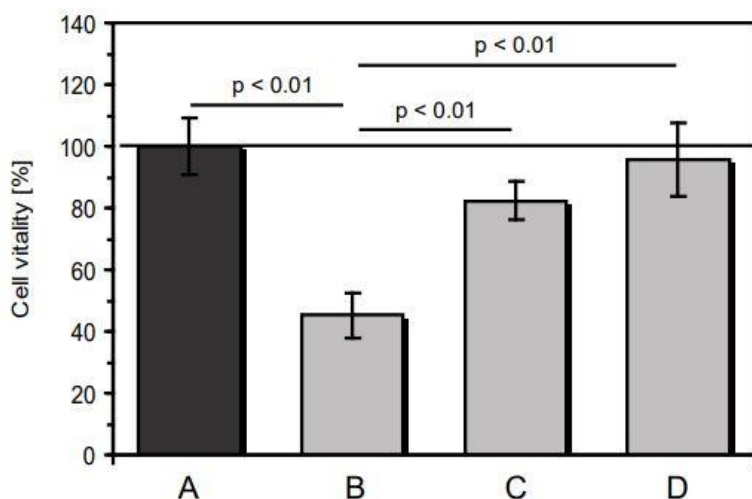
Figuur 3. Effect van het actief overdragen van de oriëntatie van de mobiele telefoon, hetzij met het display naar de cellagen, hetzij met de achterkant naar de cellagen, op bindweefselcellen in cultuur. Er werd altijd een dubbelwandig golfkarton geplaatst tussen de mobiele telefoon en de cellagen. Gegevens vertegenwoordigen gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie ($n = 3$ en $n = 13$).

Effectiviteit van het apparaat om niet-thermische straling van mobiele telefoons te compenseren.

Op basis van de tot nu toe beschreven resultaten hebben we onderzocht of het compensatieapparaat bindweefselcellen kan beschermen tegen niet-thermische straling van mobiele telefoons. In alle experimentele series werden cellen blootgesteld aan 2 uur van de actief zendende mobiele telefoon, gevolgd door een periode van 22 uur van normale incubatie. Een dubbelwandig golfkarton werd geplaatst tussen de actieve mobiele telefoon en cellagen en de mobiele telefoon was altijd met de achterkant naar de cellagen gericht. Het compensatieapparaat werd geplaatst op de oplaadbare batterijeenheid in de mobiele telefoon of in de speciaal ontworpen klem van de mobiele telefoonhoes. Om te onderzoeken of een bescherming mogelijk te wijten is aan de aanwezigheid van het apparaat materiaal alleen, werd een inactieve dummy van het apparaat gebruikt om dezelfde experimenten uit te voeren.

Zoals afgebeeld in Figuur 4 resulteerde het gebruik van het compensatie-apparaat in een verbeterde celvitaliteit van $82,4\% \pm 7,4\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 6$) in vergelijking met cellen die werden blootgesteld aan de actief zendende mobiele telefoon zonder het apparaat (celvitaliteit: $45,3\% \pm 5,3\%$; gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 13$). Het gebruik van het compensatie-apparaat dat in een speciaal ontworpen mobiele telefoonhoes was geklemd, veroorzaakte een celvitaliteit van $95,5\% \pm 6,1\%$ (gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 5$), wat betekent dat deze combinatie de niet-thermische straling van de actief zendende mobiele telefoon in grote mate kon compenseren, wat niet significant verschilde van onbehandelde controles.

Ten slotte observeerden we geen significant verschil tussen het effect van de niet-thermische straling van mobiele telefoons op cellen zonder bescherming van het compensatieapparaat (celvitaliteit: $45,3 \pm 5,3\%$; gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 13$) of bij gebruik van een inactieve dummy van het apparaat (celvitaliteit: $50,5 \pm 7,6$; gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 13$) of bij gebruik van een inactieve dummy van het apparaat (celvitaliteit: $50,5\% \pm 7,6\%$; gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie; $n = 4$).



Figuur 4. Grafische weergave van de werkzaamheid van het apparaat om niet-thermische straling van mobiele telefoons te compenseren. (A) Onbehandelde controlecellen met normale incubatie gedurende 24 uur ($n = 13$); (B) Cellen blootgesteld gedurende 2 uur + 22 uur normale incubatie ($n = 13$); (C) Cellen blootgesteld gedurende 2 uur + 22 uur normale incubatie met het apparaat geplaatst op de oplaadbare batterij-eenheid in de mobiele telefoon

($n = 6$); (D) Cellen blootgesteld gedurende 2 uur + 22 uur normale incubatie met het apparaat vastgeklemd in de speciaal ontworpen mobiele telefoonhoes ($n = 5$). Gegevens vertegenwoordigen gemiddelde waarde \pm standaarddeviatie. Statistische significantie wordt aangegeven tussen de groepen ($p < 0,01$; Wilcoxon-Mann-Whitney-test).

Discussie

De eerste hoofdvraag van de huidige studie was om het effect van niet-thermische 1800 MHz-straling van een actieve mobiele telefoon in de operationele (pratende) modus te evalueren in relatie tot de blootstellingstijd op gekweekte bindweefselfibroblasten als een gevoelig biologisch testsysteem. Onze resultaten toonden aan dat slechts 2 uur continue blootstelling aan niet-thermische straling de cel vitaliteit met meer dan 50% verminderde in vergelijking met onbehandelde controlecellen.

Het effect van de totale straling, inclusief het deel van de microgolven, veroorzaakte meer dan 90% verlies in cel vitaliteit. Dit effect is in overeenstemming met andere rapporten over het tijdsafhankelijke effect van hoogfrequente straling op gekweekte cellen van verschillende oorsprong [18-21]. Nieuw in onze studie is de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen het deel van thermische en niet-thermische straling door een dubbelwandig golfkarton te plaatsen tussen de actief zendende mobiele telefoon en de cellagen. Het verschil tussen beide, totale straling en niet-thermische straling, is meer dan 40% in cel vitaliteit.

Het resultaat dat de vitaliteit van cellen niet werd beïnvloed door de oriëntatie van de actief zendende mobiele telefoon was enigszins verrassend. Men zou verwachten dat de oriëntatie met het scherm gericht op de cellagen, zoals bij normaal gebruik van de mobiele telefoon, de vitaliteit van cellen veel meer zou verminderen dan de andere kant gericht op de cellen. Lewicka et al. [22] onderzochten de veranderingen die plaatsvonden in menselijke bloedplaatjes onder invloed van elektromagnetische straling die werd uitgezonden door LCD-monitoren. Ze vonden nadelige effecten in het zuurstofmetabolisme van bloedplaatjes die fysiologische disfunctie van het organisme zouden kunnen veroorzaken. Het is echter denkbaar dat het grootste deel van de straling die werd uitgezonden door schermen thermisch is, wat in ons testsysteem werd geblokkeerd door gebruik van het karton. Reactieve zuurstof- en stikstofsoorten bestaan alomtegenwoordig in complexe biologische systemen, weefsels of cellen om deel te nemen aan verschillende cellulaire signaalroutes. Ze spelen een belangrijke homeostatische rol bij het reguleren van de signaaltransductie die betrokken is bij celproliferatie en celoverleving [23]. Oxidatieve stress vindt plaats wanneer er een overmaat aan reactieve zuurstof- en stikstofsoorten optreedt. Dan is endogene detoxificatie van de reactieve tussenproducten of reparatie van de geoxideerde biomoleculen zoals nucleïnezuren, lipiden of eiwitten niet voldoende om celschade te voorkomen. Ernstige oxidatieve stress kan celdood veroorzaken, en zelfs een matige werking van oxiderende soorten kan apoptose veroorzaken, terwijl intensere stress necrose kan veroorzaken [24-27]. Celdood na elektromagnetische straling wordt in de meeste publicaties toegeschreven aan verhoogde niveaus van reactieve zuurstof- en stikstofsoorten in verschillende soorten, waaronder menselijke weefsels en cellen (voor een overzicht, zie [28]).

Hoewel het onderzoek naar oxidatieve stress zelf geen hoofdinteressepunt was in deze studie, hebben we de daaropvolgende normale incubatieperiode na blootstelling aan straling toegepast om de cellen in staat te stellen endogene signalering voor apoptotische of necrotische processen te reguleren. Zoals al gedetailleerd beschreven door Kerr et al. [29] en El-Schich et al.

[30], apoptose vertoont karakteristieke morfologische veranderingen in afzonderlijke cellen, zoals een toename van het celvolume gevolgd door een afname en de vorming van kleine, ruwweg bolvormige cytoplasmatische fragmenten (apoptotische lichamen).

Deze typische tekenen werden ook waargenomen in onze studie met gekweekte bindweefselfibroblasten na straling van mobiele telefoons, wat suggereert dat de cellen ook apoptose

ondergingen die werd geïnduceerd door oxidatieve stress, zoals aangetoond voor gekweekte fibroblasten [19,20]. Vooral een time-lapse-video toonde de initiële toename van het celvolume gevolgd door krimp van de cellen en de vorming van apoptotische lichamen na loslating (hier niet getoond). Het hoge

pathogene potentieel van de geïnduceerde reactieve zuurstofsoorten en hun betrokkenheid bij celsignaleringspaden verklaart een breed scala aan biologische en gezondheidseffecten van elektromagnetische straling, waaronder zowel niet-kanker- als kankerpathologieën [5,31-33].

De tweede hoofdvraag van deze studie was om te evalueren of een speciaal apparaat in staat zou kunnen zijn om niet-thermische straling van mobiele telefoons te compenseren tijdens continue werking. De resultaten op deze vraag zijn zeer overtuigend en tonen aan dat dit apparaat daadwerkelijk in staat is om 1800 MHz niet-thermische mobiele telefoonstraling in grote mate te compenseren zonder de verzonden informatie te beïnvloeden. De doeltreffendheid van dit apparaat is al aangetoond in een eerdere publicatie [13].

Het is de bedoeling om de onderzoeksinstellingen over te brengen naar veldexperimenten met mensen in hun normale leefomgeving om te zien of de resultaten van de in vitro-studie zoals hier gepresenteerd, kunnen worden toegewezen aan een echte levenssituatie.

Conclusies

De resultaten van ons onderzoek tonen aan dat blootstelling van gekweekte bindweefselcellen aan de niet-thermische straling van een actief zendende mobiele telefoon een aanzienlijk verminderde cel vitaliteit veroorzaakt. Dit ongewenste biologische effect kan echter uitgebreid worden gecompenseerd (> 95%) door het apparaat alleen of met een speciaal ontworpen mobiele telefoonhoes te gebruiken.

Belangenconflict

De auteurs verklaren geen belangenconflict te hebben.

Funk RHW, Monsees TK. Effects of electromagnetic fields on cells: Physiological and therapeutical approaches and molecular mechanisms of interaction. *Cells Tissues Organs*. 2006; 182:59–78.

Funk RHW, Monsees T, Özkucur N. Electromagnetic effects – from cell biology to medicine. *Progr Histochem Cytochem*. 2009; 43:177-264.

Giuliani L, Soffritti M. Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. *Eur J Oncol*. 2010; 5.

Yakymenko I, Sidorik E, Henshel D, et al. Low intensity radiofrequency radiation: A new oxidant for living cells. *Oxid Antioxid Med*. 2014; Sci 3:1-3.

Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, et al. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radio-frequency radiation. *Electromagn Biol Med*. 2016; 35:186-202. Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Polarization: A key difference between man-made and natural electromagnetic fields, in regard to biological activity. *Scientific Reports*. 2015; 5:14914.

Barnes F, Greenebaum B. Some effects of weak magnetic fields on biological systems – RF fields can change radical concentrations and cancer cell growth rates. *IEEE Power Electronics Magazine*. 2016; 3:60-68.

- Non-ionizing radiation Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Monogr. Eval Carcinog Risks Hum. 2013; 102:1-460.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Statement on the guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998; 74:494-522.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Statement on the guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 2009; 97:257-258.
- Roehm NW, Rodgers GH, Hatfield SM, et al. 19An improved colorimetric assay for cell proliferation and viability utilizing the tetrazolium salt XTT. J Immunol Meth. 1991. 142:257-265.
- Brosin A, Wolf V, Mattheus A, et al. Use of XTT-assay to assess the cytotoxicity of different surfactants and metal salts in human keratinocytes (HaCaT). A feasible method for in vitro testing of skin irritants. Acta Dermatovenereologica. 77:26-28.
- Dartsch PC, Dochow T. Cellular effects following exposure to wireless DECT base radiation and presentation of a device for their compensation. J Complement Alternat Med Res. 2017; 3:1-9.
- Ferris JP. Mineral catalysis and prebiotic synthesis: Montmorillonite-catalyzed formation of RNA. Elements. 2005; 1:145-149.
- Avakyan SV, Serova AE, Voronin NA. The role of Rydberg atoms and molecules in the upper atmosphere. Geomagnetizm i Aéronomiya. 1997; 37:99-106.
- Sposito G, Skipper NT, Sutton R, et al. Surface geochemistry of the clay minerals. Proc Natl Acad Sci. 1999; 96:3358-3364.
- Geesink HJH, Meijer DKF. Quantum wave information of life revealed: An algorithm for electromagnetic frequencies that create stability of biological order, with implications for brain function and consciousness. NeuroQuantol. 2016; 14:106-125.
- Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, et al. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. Mut Res/Genetic Toxicol Environ Mutagen. 2005; 583:178-183.
- Manna D, Ghosh R. Effect of radiofrequency radiation in cultured mammalian cells: A review. Electromagn Biol Med. 2016; 3:265-301.
- Marjanovic CAM, Pavicic I, Lovakovic PB, et al. In vitro non-thermal oxidative stress response after 1800 MHz radiofrequency radiation. Gen Physiol Biophys. 2017; 36:407-414.
- Mahmoudi G, Nikzad S, Mehrpouyan M, et al. Effects of mobile phone prolonged radiation on kidney cells; an in-vitro study. J Renal Inj Prev. 2018; 7:175-179.
- Lewicka M, Henrykowska GA, Pacholski K, et al. The effect of electromagnetic radiation emitted by display screens on cell oxygen metabolism - in vitro studies. Arch Med Sci. 2015; 11:1330-1339.
- Finkel T. Signal transduction by reactive oxygen species. J Cell Biol. 2011; 194:7-15. Ryter SW, Kim HP, Hoetzel A, et al. Mechanisms of cell death in oxidative stress. Antioxid Redox Signal. 2006; 9:49-89. 1
- Franco R, Cidlowski JA. Apoptosis and glutathione: beyond an antioxidant. Cell Death Differ. 2009; 16:1303-1314.
- Circu ML, Aw TY. Reactive oxygen species, cellular redox systems and apoptosis. Free Radic Biol Med. 2010; 48:749-762.
- Navarro-Yepes J, Burns M, Anandhan A, et al. Oxidative stress, redox signaling, and autophagy: cell death versus survival. Antioxid Redox Signal. 2014; 21:66-85.
- Wang H, Zhang X. Magnetic fields and reactive oxygen species. Int J Mol Sci. 2017; 18:2175-2195.
- Kerr JFR, Wyllie AH, Currie AR. Apoptosis: A basic biological phenomenon with wideranging implications in tissue kinetics. Br J Cancer. 26:239-257.
- El-Schich Z, Mölder A, Tassidis H, et al. Induction of morphological changes in death-induced cancer cells monitored by holographic microscopy. J Struct Biol. 2015; 189:207-212.
- Hou Q, Wang M, Wu S, et al. Oxidative changes and apoptosis induced by 1800-MHz electromagnetic radiation in NIH/3T3 cells. Electromagn Biol Med. 2015; 34:85-92.
- Prasad M, Kathuria P, Nair P, et al. Mobile phone use and risk of brain tumours: a systematic review of association between study quality, source of funding, and research outcomes. Neurol Sci. 2017; 38:797-810.
- Naziroglu M, Akman H. Effects of cellular phone- and Wi-Fi-induced electromagnetic radiation on oxidative stress and molecular pathways in brain. In: Systems Biology of Free Radicals and Antioxidants. Laher I (ed.); Springer; Berlin, Heidelberg. 2014; 2431-2449.