

Overzicht van studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in 2019 werden gepubliceerd.

Epidemiologische en klinische studies.

Reviews en meta-analyses

Hersenen- en speekselkliertumoren en het gebruik van mobiele telefoons: evaluatie van het bewijsmateriaal uit verschillende soorten epidemiologisch onderzoek.

Röösli M, Lagorio S, Schoemaker MJ, Schüz J, Feychting M.

Annu Rev Public Health. 2019 Apr 1; 40: 221-238.

Mobiele telefoons (MT's) zijn de meest relevante bron van blootstelling van de hersenen en de speekselklieren aan radiofrequente elektromagnetische velden. Of deze blootstelling een kankerrisico inhoudt, is onderzocht in verschillende case-control studies en enkele cohortstudies. Een meta-analyse van deze studies laat geen verhoogde risico's zien voor meningeoom, hypofyse- en speekselkliertumor. Voor glioom en akoestisch neurooom zijn de resultaten heterogeen, met enkele case-control studies die aanzienlijk verhoogde risico's rapporteren. Deze verhoogde risico's zijn echter niet consistent met de waargenomen incidentie tijdstrends, die voor dit specifieke onderwerp als informatief worden beschouwd vanwege de snelle toename van het MT-gebruik, de beschikbaarheid van vrijwel volledige gegevens in de kankerregisters van veel landen, en het beperkte aantal bekende concurrerende milieurisicofactoren.

Conclusies: Men kan stellen dat epidemiologisch onderzoek geen verhoogd risico op hersentumor of speekselkliertumor met MT-gebruik toont, hoewel er enige onzekerheid blijft bestaan met betrekking tot lange latentieperioden (> 15 jaar), zeldzame hersentumorsubtypen en MT-gebruik tijdens de kindertijd.

Gebruik van mobiele telefoons

Geen bewijs voor verhoogde incidentie van hersentumoren in het Zweeds nationaal kankerregister in de periode 1980-2012.

Nilsson J, Järås J, Henriksson R, Holgersson G, Bergström S, Estenberg J, Augustsson T, Bergqvist M.

Anticancer Res. 2019 Feb; 39 (2): 791-796

Het belangrijkste doel van deze studie was om te evalueren of er een toename van de incidentie van hersentumoren was tussen de jaren 1980 en 2012, een periode waarin het gebruik van mobiele telefoons aanzienlijk is toegenomen. In de Zweedse kankerregistratie werden gevallen van meningeoom, laaggradig glioom (LGG) en hooggradig glioom (HGG) geïdentificeerd in de periode 1980-2012. Directe, gestandaardiseerde incidentiecijfers o.b.v. leeftijd werden gebruikt om de incidentie-trends in de loop van de tijd te berekenen. Een totaal van 13.441 gevallen van

meningeoom, 12.259 gevallen van HGG en 4.555 gevallen van LGG werden tijdens de onderzoeksperiode aan het register gerapporteerd. De resultaten suggereren dat de trend voor LGG negatief kan zijn met -0,016 gevallen per 100.000 personen per jaar, wat overeenkomt met een gemiddelde afname van ongeveer 1% per jaar.

Conclusies: Deze studie kon in de afgelopen 30 jaar in Zweden geen verhoogde incidentie van glioom aantonen.

Analyse van temporele en ruimtelijke patronen van glioblastoma multiforme en andere hersenkanker subtypes in relatie tot het gebruik van mobiele telefoons, met behulp van synthetische counterfactuals.

de Vocht F.

Environ Res. 2019 Jan; 168: 329-335.

Deze studie beoordeelt of temporele trends in glioblastoma multiforme (GBM) in verschillende hersenregio's en van verschillende kwaadaardige en goedaardige (inclusief akoestische neuromen en meningiomen) subtypen in de temporale kwab geassocieerd kunnen worden met het gebruik van mobiele telefoons. De incidentie van subtypes hersenkanker voor Engeland in 1985-2005 werd gekoppeld aan covariabelen op populatieniveau. Bayesiaanse structurele tijdreeksen werden gebruikt om tegengestelde feitelijke trends en verschillen trends en verschillen te creëren voor 2006-2014 met gemeten nieuwe gediagnosticeerde gevallen die als causale effecten werden geïnterpreteerd. Toenames in overmaat van de tegengestelde feiten voor GBM werden gevonden in de temporale (+ 38% [95% betrouwbaarheidsinterval -7%, 78%]) en frontale (+ 36% [-8%, 77%]) lobben, die in overeenstemming zijn met de hypothetische temporele en ruimtelijke mechanismen van het gebruik van mobiele telefoons, en in het cerebellum (+ 59% [-0%, 120%]). Effecten waren echter vooral aanwezig in oudere leeftijdsgroepen, met de grootste effecten in 75+ en 85+ groepen. Dit geeft aan dat het onwaarschijnlijk is, dat het gebruik van de mobiele telefoon een belangrijke vermeende factor is geweest.

Conclusies: Er was geen bewijs van een effect van het gebruik van mobiele telefoons op de incidentie van akoestische neuromen en meningeomen. Hoewel de trends in GBM in de temporale en frontale kwabben en waarschijnlijk de kleine hersenen in de periode 1985-2014 consistent lijken te zijn met het gebruik van mobiele telefoons als een belangrijke vermeende factor, geven leeftijdsgroepspecifieke analyses aan dat het onwaarschijnlijk is dat deze correlatie causaal is.

Een prospectieve cohortstudie over de geheugenprestaties van adolescenten en de individuele hersendosis van microgolfstraling afkomstig van draadloze communicatie.

Foerster M, Thielens A, Joseph W, Eeftens M, Rösli M.

Environ Health Perspect. 2018 Jul 23; 126 (7): 077007.

De potentiële impact van microgolf radiofrequente magnetische velden (RF-EMV) die door draadloze communicatieapparaten worden uitgezonden, op neurocognitieve functies van adolescenten, is controversieel. In een eerdere analyse vonden de auteurs bij adolescenten veranderingen in figurale geheugenscores die samenhangen met een hogere cumulatieve RF-EMV-hersendosis. Ze wilden de eerdere resultaten opvolgen met behulp van een nieuwe onderzoekspopulatie, een dosisschatting en

een aanpak gericht op controle op verstoringen door het mediagebruik zelf. De RF-EMV hersendosis werd gemodelleerd voor elke deelnemer. Multivariabele lineaire regressiemodellen werden toegepast op verbale en figurale geheugenscore veranderingen over 1 jaar en op geschatte cumulatieve hersendosis en RF-EMV gerelateerd en niet-gerelateerd mediagebruik (n = 669-676). Vanwege de hemisferische lateraliteit van het geheugen werd een lateraliteitsanalyse uitgevoerd voor de voorkeur van het telefoongesprek. Om controle te houden over de versturende werking van mediagebruik, werd ook een gelaagde analyse uitgevoerd voor verschillende mediagebruiksgroepen. De auteurs vonden verminderde figurale geheugenscores in combinatie met een toename van het interkwartielbereik (IQR) van geschatte cumulatieve RF-EMV hersendosis scores: -0,22 (95% BI: -0,47, 0,03; IQR: 953 mJ / kg per dag) in de gehele groep, -0,39 (95% CI: -0,67; -0,10; IQR: 953 mJ/kg per dag) bij gebruikers aan de rechterkant (n = 532), en -0,26 (95% CI: -0,42; -0,10; IQR : 341 mJ/kg per dag) wanneer de gegevens van de netwerkexploitant werden gebruikt voor de schatting van RF-EMF-doses (n = 274). Mediagebruik dat geen verband houdt met RF-EMF vertoonde geen significante associaties of consistente patronen, met uitzondering van consistente (niet-significante) positieve associaties tussen de duur van het gegevensverkeer en het verbale geheugen.

Conclusies: Deze bevindingen in een cohort van Zwitserse adolescenten vereisen bevestiging bij andere populaties, maar suggereren een mogelijk nadelig effect van RF-EMF hersendosis op cognitieve functies waarbij hersengebieden betrokken zijn die meestal blootgesteld zijn tijdens het gebruik van mobiele telefoons.

Het gebruik van telecommunicatieapparaten, schermtijd en slaap bij adolescenten.

Cabr -Riera A, Torrent M, Donaire-Gonzalez D, Vrijheid M, Cardis E, Guxens M.

Environ Res. 2019 Apr; 171: 341-347.

Om de associatie tussen telecommunicatie en andere gebruik van schermapparatuur en subjectieve en objectieve slaapmaatregelen bij adolescenten van 17-18 jaar te onderzoeken voerden de auteurs een cross-sectionele studie uit bij adolescenten in de leeftijd van 17-18 jaar van een in Spaanse gemeenschappen geboren geboortecohort die in 1997-1998 in Menorca is gevestigd. Informatie over het gebruik van apparaten werd verzameld met behulp van zelf gerapporteerde vragenlijsten. De Mobile Phone Problematic Use Scale werd gebruikt om de afhankelijkheid van mobiele telefoons te bepalen. De Pittsburgh Sleep Quality Index werd gebruikt om de subjectieve slaap te beoordelen (n = 226). ActiGraph wGT3X-BT voor 7 nachten werd gebruikt om objectieve slaap vast te stellen (n = 110). Een of meer draadloze telefoontjes per week was geassocieerd met een lagere slaapkwaliteit [Prevalentie Ratio (PR) 1,30 (95% betrouwbaarheidsinterval (BI) 1,04; 1,62)]. Gewoon en vaak problematisch gebruik van mobiele telefoons ging gepaard met een lagere slaapkwaliteit [PR 1,55 (95% CI 1,03; 2,33) en PR 1,67 (95% BI 1,09; 2,56), respectievelijk]. Een hoger tabletgebruik was geassocieerd met verminderde slaapefficiëntie en verhoogd aantal minuten van wektijd na het begin van de slaap [β -1,15 (95% CI -1,99; -0,31) en β 7,00 (95% CI 2,40; 11,60) per toename van 10 min/dag van gebruik, respectievelijk]. Er zijn geen associaties gevonden tussen andere apparaten en slaapparameters.

Conclusies: De frequentie van draadloze telefoongesprekken en afhankelijkheid van mobiele telefoons en tablets waren gerelateerd met een toename van subjectieve en objectieve slaapproblemen bij adolescenten. Deze resultaten lijken erop te wijzen dat slaapverplaatsing, geestelijke opwindning en blootstelling aan blauwlichtschermemissie mogelijk een belangrijkere rol

spelen bij het slapen dan een hoge RF-EMF blootstelling van de hersenen. Er zijn echter meer studies nodig die persoonlijke RF-EMF niveaus beoordelen om conclusies te trekken.

Residentiële blootstelling

Geen studies.

Menselijk experimenteel onderzoek

Variaties in elektro-encefalografie met gebruik van mobiele telefoons bij studenten geneeskunde.

Parmar K, Tandon R, Kumar N, Garg RK.

Neurol India. 2019 Jan-Feb; 67 (1): 235-241.

Het doel van deze studie is om EEG-veranderingen en nadelige effecten na gebruik van mobiele telefoons te bestuderen. De studie werd uitgevoerd in de afdeling Neurologie van een academisch ziekenhuis in tertiaire zorg in India, op Noord-Indiase studenten van de universiteit, van augustus 2017 tot oktober 2017. Eenentwintig studenten ondergingen video-EEG-opnames voor en na het gebruik van de Samsung GT-56312 dual SIM-smart phone in: uitgeschakelde, ingeschakelde en ingeschakelde modus met gesprek. Gemiddelde EEG-frequenties en -amplituden werden berekend voor verschillende hersengebieden. Chi-kwadraattoets en t-toets werden gebruikt voor vergelijking tussen variabelen. De gemiddelde leeftijd van 7 (33,3%) mannelijke en 14 (66,7%) vrouwelijke proefpersonen was $20,76 \pm 1,48$ jaar. De gemiddelde EEG-frequenties na mobiele-telefoontoepassing met conversatie waren hoger en de amplituden lager dan de basislijnwaarden. Frequenties waren groter aan de rechterkant. Langzame golven werden gedetecteerd in het frontale gebied in 38,1%, in het pariëtale gebied in 33,3%, in het occipitale en temporale gebied in 19,1%; en gegeneraliseerde langzame golven werden gezien bij 9,5% studenten. Tijdens het experiment had 23,8% hoofdpijn, 19% irritatie en 9,5% voelde zich slaperig. Hoofdpijn en concentratieverlies (33,3%), slaapstoornissen (28,6%) en vermoeidheid (19%) kwamen frequent voor in het dagelijks leven.

Conclusies: Experimentele toepassing van mobiele telefoons kan leiden tot enkele EEG-veranderingen en bepaalde nadelige effecten op het welzijn.

Complicaties van niet-ioniserende radiofrequenties op verdeelde aandacht.

Bamdad K, Adel Z, Esmaili M2.

J Cell Biochem. 2019 Jun; 120 (6): 10572-10575.

Blootstelling aan elektromagnetische velden wordt beschouwd als een potentieel gevaar voor biologische systemen. Het doel van dit onderzoek is de studie van de waarschijnlijke gevolgen van radiofrequente elektromagnetische velden van wifi-router apparaten op het kortetermijngeheugen en het aandachtsniveau. Een populatie bestaande uit 312 vrouwelijke studenten (14 tot 17 jaar oud) werd gekozen door middel van cluster-aselecte steekproeven. Tieners waren onderverdeeld in twee

groepen zijnde een controlegroep (niet wifgebruikers, n = 138) en een experimentgroep (wifgebruikers; n = 174). Beide groepen werden onderzocht met behulp van kortetermijngeheugentesten; selectieve aandacht, en ook verdeelde aandachtstests. Volgens de resultaten was er geen significant verschil tussen het al dan niet gebruik van wifrouter apparaten op niveaus van selectieve aandacht en kortetermijngeheugen. Uit analyses bleek echter dat er een significante correlatie bestaat tussen het gebruik van wifrouters en afnemende niveaus van verdeelde aandacht.

Conclusies: Dit onderzoek heeft nadelige gevolgen aangetoond van 2,4 - 2,48 GHz radiofrequente elektromagnetische velden van wifrouter apparaten op verdeelde aandachtsniveaus van vrouwelijke universiteitsstudenten.

Effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden 's avonds uitgestraald door 3G-mobiele telefoons op de gezondheid en het slaap encephalogram.

Lowden A, Nagai R, Åkerstedt T, Hansson Mild K, Hillert L.

J Sleep Res. 2019 Jan 15: e12813.

Onderzoek naar slaap na blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden heeft gemengde resultaten opgeleverd. De auteurs onderzochten de effecten van dubbelblinde radiofrequentiebloomstelling van 1.930 - 1.990 MHz, UMTS 3G standaardsignalen en tijdsgemiddelde 10 g specifieke absorptiesnelheid van 1,6 W/kg op zelf geëvalueerde slaperigheid en objectieve elektro-encefalogramarchitectuur tijdens de slaap. Achttien proefpersonen van 18 tot 19 jaar ondergingen een 3 uur durende gecontroleerde blootstelling op twee opeenvolgende dagen van 19:45 tot 23:00 uur (inclusief onderbreking van 15 minuten) een actieve of schijnblootstelling voorafgaand aan de slaap, gevolgd door polysomnografische opnames gedurende 7,5 uur in een slaaplaboratorium. In een cross-overontwerp werd de procedure een week later herhaald met de tweede voorwaarde. De resultaten voor de elektro-encefalogramarchitectuur van de slaap vertoonden geen verandering na blootstelling aan radiofrequenties in vergelijking met de schijnblootstelling, maar analyses van het vermogenspectrum toonden een vermindering van de activiteit binnen het trage spindelbereik (11,0-12,75 Hz). Er werden geen verschillen gevonden voor zelf-geëvalueerde gezondheidssymptomen, prestaties bij de Stroop-kleurenwoordtest tijdens blootstelling of voor slaapkwaliteit.

Conclusies: Deze resultaten bevestigen eerdere bevindingen dat blootstelling aan radiofrequenties 's avonds zeer weinig invloed heeft op de elektro-encefalogramarchitectuur, maar mogelijk op de activiteit van het spindelbereik.

Algemene conclusie

Een meta-analyse toont geen bewijs voor een verhoogd risico op hersentumoren of speekseltumoren met een latentieperiode korter dan 15 jaar, gerelateerd aan het gebruik van mobiele telefoons tijdens de kindertijd.

Twee tijdstrendstudies, één uit Zweden en één uit Engeland, tonen aan dat er geen bewijs is voor een verhoogde incidentie van hersentumoren in de afgelopen 20 - 30 jaar.

Sommige studies vinden directe effecten van RF-EMF op de hersenen: verminderde scores voor het figurale geheugen, variaties in het elektro-encefalogram en dalende niveaus van verdeelde aandacht. Verder onderzoek van deze effecten is noodzakelijk.

Overzicht van de epidemiologische en klinische studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het tweede trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Dr. Maurits De Ridder

Vakgroep volksgezondheid en eerstelijnszorg

Universiteit Gent

Reviews en meta-analyses

Onderzoek naar mogelijke langetermijneffecten van elektromagnetische velden op de gezondheid van werknemers – update 2019.

Rijs K.J., Stam R.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0010.html>

In wetenschappelijk onderzoek zijn nog geen verbanden bewezen tussen de blootstelling van werknemers en het ontstaan van kanker, ziekten van het zenuwstelsel of andere ziekten op de lange termijn. Wel zijn er opnieuw aanwijzingen gevonden voor een verband tussen (laagfrequente) elektromagnetische velden en de mate waarin de zenuwziekte ALS voorkomt. Het is echter nog steeds niet duidelijk of de elektromagnetische velden de werkelijke oorzaak zijn, of andere factoren op de werkplek, zoals chemische stoffen of elektrische schokken. Bij andere ziekten van het zenuwstelsel, zoals dementie en multiple sclerose (MS), spreken onderzoeken elkaar tegen of is er nog te weinig onderzoek gedaan naar het effect van elektromagnetische velden.

Er is geen verband aangetoond tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en het ontstaan van diverse vormen van kanker en hart- en vaatziekten. Voor borstkanker (bij vrouwen) zijn er nog steeds geen aanwijzingen voor een verband. Voor hersentumoren en leukemie is er onvoldoende bewijs voor een verband. Voor andere vormen van kanker en voor afwijkingen in de voortplantingsfuncties, de zintuigen, het afweersysteem en spieren of gewrichten ontbreekt voldoende en goed onderbouwd onderzoek.

Het mogelijke gevaar van straling van mobiele telefoons op schildkliercellen en -hormonen: een systematische review.

Asl JF, Larijani B, Zakerkish M, Rahim F, Shirbandi K, Akbari R.

Environ Sci Pollut Res Int. 2019 Jun; 26 (18): 18017-18031.

Het doel van deze studie was om de effecten te onderzoeken van mogelijk schadelijke golven van het gebruik van mobiele telefoons van 450 tot 3800 MHz op de schildkliercellen en -hormonen. Acht

elektronische datasets werden systematisch doorzocht met behulp van MeSH-termen, waaronder 'mobiele telefoon', 'mobiele telefoon', 'GSM', 'radiofrequentie', 'smartphone', 'triiodothyronine', 'thyroxine', 'schildklierstimulerend hormoon', 'T3', 'T4', 'TSH' en morfologische en alle mogelijke combinaties om relevante onderzoeken te identificeren die tot december 2018 zijn gepubliceerd. De auteurs hebben ook handmatig de referentielijsten van mogelijk geselecteerde onderzoeken doorzocht om verdere relevante publicaties te identificeren. In eerste instantie werden ongeveer 161 relevante studies gevonden. Na het screenen van titels en samenvattingen werden 139 onderzoeken uitgesloten en uiteindelijk werden 22 onderzoeken (bestaande uit 7182 gevallen) opgenomen in de kwalitatieve synthese. Van de 22 opgenomen onderzoeken meldden 11 onderzoeken veranderingen in T3- en T4-niveaus (zes rapporteerden een afname in T3-niveaus en één rapporteerde een toename ervan); bovendien vonden vijf verlaagde T4-niveaus en twee studies een verhoogd niveau. In 10 andere onderzoeken werd TSH-verandering gemeld. Hiervan rapporteerden twee studies een afname van het TSH-niveau en één rapporteerde een toename van de hormoonspiegels, terwijl in de resterende onderzoeken niet-significante veranderingen werden gemeld. Ten slotte onderzochten zeven studies histologische veranderingen in de follikels van de schildklier en toonden aan dat het volume van deze cellen was verminderd. Op basis van het hierboven besproken bewijsmateriaal is de vermindering van de diameter van de schildklierfollikels mogelijk gekoppeld aan de straling van mobiele telefoons. Blootstelling kan de opname van jodium in de schildklier negatief beïnvloeden of het temperatuureffect op de schildklier vergroten.

Conclusies: Verder onderzoek is nodig om aan te tonen dat het niveau van TSH en schildklierhormoononderdrukking door microgolven mogelijk is.

Gebruik van mobiele telefoons

Associaties tussen gebruik van mobiele telefoons tijdens de zwangerschap en zwangerschapsduur en foetale groei in 4 geboortecohorten.

Tsarna E, Reedijk M, Birks LE, Guxens M, Ballester F, Ha M, Jiménez-Zabala A, Kheifets L, Lertxundi A, Lim HR, Olsen J, González Safont L, Sudan M, Cardis E, Vrijheid M, Vrijkotte T, Huss A, Vermeulen R.

Am J Epidemiol. 2019 Jul 1;188(7):1270-1280.

De resultaten van studies over mogelijke effecten van prenatale blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons op geboortekenmerken zijn inconsistent. Met behulp van gegevens van 55.507 zwangere vrouwen en hun kinderen uit Denemarken (1996-2002), Nederland (2003-2004), Spanje (2003-2008) en Zuid-Korea (2006-2011), hebben de auteurs onderzocht of het gebruik van mobiele telefoons door moeders geassocieerd was met zwangerschapsduur en foetale groei. Op basis van het zelfgerapporteerde aantal mobiele telefoongesprekken per dag werd de blootstelling gegroepeerd als geen, laag (referent), gemiddeld of hoog. De auteurs onderzochten de zwangerschapsduur (zwangerschapsduur bij geboorte, vroeggeboorte / postterm geboorte), foetale groei (geboortegewichtverhouding, kleine / grote verhouding voor zwangerschapsduur) en geboortegewichtvariabelen (geboortegewicht, laag / hoog geboortegewicht) en meta-analyseerden cohort-specifieke schattingen. De intermediaire blootstellingsgroep had een hoger risico om te bevallen op een kortere zwangerschapsduur (hazard ratio = 1,04, 95% betrouwbaarheidsinterval: 1,01, 1,07), en blootstellings-responsrelaties werden

gevonden voor kortere zwangerschapsduur ($P < 0,001$) en prematuur geboorte ($P = 0,003$). Er werd geen verband waargenomen met foetale groei of geboortegewicht.

Conclusies: Gebruik van mobiele telefoons door de moeder tijdens de zwangerschap kan worden geassocieerd met een kortere zwangerschapsduur en een verhoogd risico op vroeggeboorte, maar deze resultaten moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, omdat ze stress tijdens de zwangerschap of andere versturende variabelen kunnen weerspiegelen in plaats van een direct effect van de blootstelling aan de elektromagnetische velden van de telefoons.

Gebruik van persoonlijke TETRA radio's en ziekteverzuim in de Airwave Health Monitoring Study van de Britse politie.

Elliott P, Aresu M, Gao H, Vergnaud AC, Heard A, McRobie D, Spear J, Singh D, Kongsgård HW, Mbema C, Muller DC.

Environ Res. 2019 Aug;175:148-155.

Terrestrial Trunked Radio (TETRA) wordt gebruikt voor radiocommunicatie tussen de Britse politiediensten. Het doel van deze studie was om een verband tussen persoonlijk radiogebruik en ziekteverzuim te onderzoeken onder politieagenten en personeel van de Airwave Health Monitoring Study. Persoonlijke ziekteverzuimrecords werden gekoppeld aan persoonlijk radiogebruik voor 32.102 deelnemers voor 26 korpsen. Multivariabele logistische regressie werd gebruikt om het TETRA-gebruik in het jaar voorafgaand aan de studie en ziekteverzuim (langer dan 7 of 28 opeenvolgende dagen) in het volgende jaar te analyseren en een zero-inflated negatief binomiaal model werd gebruikt voor analyses van het aantal ziekteverzuimepisodes van elke duur gedurende dezelfde periode. In secundaire analyses keken de auteurs naar een langere observatieperiode in een sub-cohort met gekoppelde gegevens in de loop van de tijd, met behulp van Cox proportionele gevarieerde regressie. Het mediane persoonlijk radiogebruik (jaar voorafgaand aan de inschrijving) was 29,7 min per maand (interkwartielbereik 7,5 - 64,7) onder gebruikers. In het jaar na de inschrijving waren er 25.655 ziekteverzuim periodes onder 15.248 deelnemers. Er waren vergelijkbare risico's van ziekteverzuim langer dan zeven dagen bij gebruikers en niet-gebruikers, hoewel het risico bij gebruikers groter was bij groter gebruik, odds ratio = 1,04 (95% betrouwbaarheidsinterval [BI] 1,02 tot 1,06) per verdubbeling van het radiogebruik. Er was geen verband voor ziekteverzuim van meer dan 28 dagen. Voor korte periodes ziekteverzuim was het risico lager bij gebruikers dan niet-gebruikers (incidentiepercentage = 0,91; 95% BI 0,75 tot 1,11), opnieuw met een hoger risico bij gebruikers voor groter radiogebruik. Er was geen verband tussen radiogebruik en ziekteverzuim in secundaire analyses.

Conclusies: Er waren vergelijkbare of lagere risico's op ziekteverzuim bij TETRA-radiogebruikers vergeleken met niet-gebruikers. Bij gebruikers kan het hogere risico op ziekteverzuim bij groter radiogebruik een weerspiegeling zijn van verschillen in het werkpatroon onder politiepersoneel in plaats van effecten van blootstelling aan radiofrequentie.

Residentiële blootstelling

Incidentie trends van kwaadaardige hersentumoren bij volwassenen in Finland, 1990-2016.

Natukka T, Raitanen J, Haapasalo H, Auvinen A.

Acta Oncol. 2019 Jul;58(7):990-996.

Verschillende studies hebben verhoogde incidentietrends van kwaadaardige gliomen in de late jaren 1900 gemeld met een plateau in de jaren 2000, maar ook enkele recente stijgingen zijn gemeld. Het doel van deze studie was het analyseren van de incidentietrends van kwaadaardige gliomen in Finland volgens morfologie en tumorlocatie. Gegevens over 4730 maligne gliomapatiënten werden verkregen uit casusmeldingen aan de landelijke, populatiegebaseerde Finse kankerregistratie (FCR) en minder gedetailleerde gegevens over 3590 patiënten tot 2016. Leeftijd-gestandaardiseerde incidentiepercentages (ASR) en gemiddelde jaarlijkse procentuele veranderingen (APC's) in de incidentiecijfers werden berekend op basis van histologisch subtype en tumorlocatie. De incidentie van gliomen was 7,7 / 100.000 in 1990-2006 en 7,3 in 2007-2016. De incidentie van alle gecombineerde gliomen was stabiel tijdens beide studiebeperioden, zonder af te wijken van lineariteit. In een analyse per leeftijdsgroep werd een toenemende incidentie alleen gevonden voor leeftijden van 80 jaar en ouder (1990-2006). Tijdens beide studiebeperioden namen de incidentiecijfers toe bij glioblastoom en namen af bij niet-gespecificeerde hersentumoren. In 1990-2006 namen de incidentiecijfers ook toe voor anaplastisch oligodendroglioom, oligoastrocytoom en niet-gespecificeerd maligne glioom, terwijl ze afnamen voor astrocytoom. Wat betreft de tumorlocatie nam de incidentie in 1990-2006 toe voor frontale kwab- en hersenstamtumoren, evenals die met een niet-gespecificeerde locatie, maar daalde voor de pariëtale lobben, het cerebrum en de ventrikels.

Conclusies: Er werd geen toenemende incidentietrend waargenomen voor kwaadaardige gliomen in het algemeen. Een toenemende incidentietrend van kwaadaardige gliomen werd gevonden in de oudste leeftijdsgroep in 1990-2006.

Trends in de incidentie van primaire hersenen-, centraal zenuwstelsel- en intracranieële tumoren in Israël, 1990-2015.

Keinan-Boker L, Friedman E, Silverman BG.

Cancer Epidemiol. 2018 Oct; 56: 6-13.

De associatie tussen mobiele telefoons en hersenen-, centraal zenuwstelsel (CNS)- en intracranieële tumoren is onduidelijk. Analyse van trends in de incidentie van dergelijke tumoren gedurende perioden waarin het gebruik van mobiele telefoons dramatisch toenam, kan relevante informatie toevoegen. Hierin beschrijven de auteurs seculiere trends in de incidentie van primaire tumoren van de hersenen en het centraal zenuwstelsel van 1990 tot 2015 in Israël, een periode waarin mobiele telefonie technologie in Israël zeer gangbaar werd. Alle gevallen van primaire hersenen-, CZS- en intracranieële tumoren (met uitzondering van lymfomen) die in Israël van 1990 tot 2015 werden gediagnosticeerd, werden geïdentificeerd in de Israel National Cancer Registry-database en gecategoriseerd op gedrag (kwaadaardig; goedaardig / onzeker gedrag) en histologisch type. Jaarlijkse gestandaardiseerde incidentiecijfers per geslacht en bevolkingsgroep (Joden, Arabieren) werden berekend, en de jaarlijkse procentuele veranderingen en 95% betrouwbaarheidsintervallen per categorie werden berekend met behulp van de Joinpoint-software. Meer dan 26 jaar (1990-2015) werden geen significante veranderingen waargenomen in de incidentie van kwaadaardige hersenen-, CZS- en intracranieële tumoren, behalve een toename van maligne gliomincidentie bij Joodse vrouwen tot 2008 en Arabische mannen tot 2001, die afvlakten in beide subgroepen daarna. De

incidentie van goedaardig / onzeker gedrag hersenen-, CZS- en intracraniële tumoren nam toe in de meeste bevolkingsgroepen tot het midden van de jaren 2000, een trend die meestal werd veroorzaakt door veranderingen in de incidentie van meningioom, maar is daarna aanzienlijk afgenomen (Joden) of gestabiliseerd (Arabieren).

Conclusies: Deze bevindingen zijn niet consistent met een waarneembaar effect van gebruik van mobiele telefoons in Israël op incidentietrends van hersenen-, CZS- en intracraniële tumoren.

Residentiële blootstelling aan ultrahoogfrequente elektromagnetische velden uitgezonden door Global System for Mobile (GSM) antennes en incidentie van amyotrofische laterale sclerose: een geo-epidemiologische populatie-gebaseerde studie.

Luna J, Leleu JP, Preux PM, Corcia P, Couratier P, Marin B, Boumediene F; Fralim Consortium.

Environ Res. 2019 Jun 11;176:108525.

Amyotrofische laterale sclerose (ALS) is een fatale neurodegeneratieve ziekte met onbekende etiologie. De antennes voor mobiele communicatie zijn de afgelopen decennia toegenomen. Bijgevolg is de blootstelling in de omgeving aan ultrahoogfrequente elektromagnetische velden (UHF-EMV's) uitgestoten door Global System for Mobile (GSM) communicatie-antennes gestaag toegenomen, wat aanleiding geeft tot bezorgdheid over mogelijke gezondheidsrisico's bij de algemene bevolking. De auteurs probeerden de relatie te evalueren tussen residentiële blootstelling aan UHF-EMV's gegenereerd door GSM-antennes en het risico van ALS in de algemene bevolking. Een geo-epidemiologische populatie-gebaseerde studie werd uitgevoerd in Limousin (Frankrijk). ALS-incidentgevallen werden geïdentificeerd via een register (FRALim, periode 2000-2012). Een model om de blootstelling aan UHF-EMV te schatten werd ontwikkeld op basis van de afstand en het vermogen van GSM-antennes. Blootstelling aan meerdere emissies vanuit meerdere richtingen werd overwogen. Een niet-cumulatief en een cumulatief model werden vastgesteld. Een geografisch informatiesysteem integreerde het rastermodel van blootstelling en de residentiële verdeling van waargenomen en verwachte gevallen. Een algemeen lineair model werd uitgevoerd om de associatie te testen. In totaal werden 312 ALS-gevallen opgenomen. De auteurs schatten voor 90% van de bevolking de blootstelling lager dan 1,72 V/m in stedelijke gebieden en lager dan 1,23 V/m in landelijke gebieden. Een gradiënteffect tussen UHF-EMV-blootstelling en ALS-incidentie was duidelijk met een statistisch significante trend. Een significant verhoogd risico op ALS werd waargenomen tussen de niet-blootstellingscategorie en de hoogste blootstellingscategorie, met een relatief risico van 1,78 (95% BI: 1,28-2,48) in het niet-cumulatieve model en 1,83 (95% BI: 1,32- 2.54) in het cumulatieve model.

Conclusies: Deze resultaten suggereren een mogelijk verband tussen residentiële UHF-EMV-blootstelling en ALS. Ecologische studies zijn een middel om hypothesen te genereren. Verdere studies zijn nodig om de potentiële rol van EMV's op neurodegeneratie te verduidelijken.

Menselijk experimenteel onderzoek

Effecten van radiofrequente elektromagnetische velden op het EEG van de mens in rusttoestand - de inconsistenties in de consistentie. Deel 1: Niet-blootstellingsgerelateerde beperkingen van de vergelijkbaarheid tussen onderzoeken.

Danker-Hopfe H, Eggert T, Dorn H, Sauter C.

Bioelectromagnetics. 2019 Jul;40(5):291-318.

De resultaten van onderzoeken naar mogelijke effecten van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV's) op humane elektro-encefalografie (EEG) zijn behoorlijk heterogeen. In de meeste onderzoeken werden veranderingen in het alfafrequentiegebied waargenomen bij personen die werden blootgesteld aan verschillende signalen van EMV-bronnen die verband houden met mobiele telefoons, terwijl in andere onderzoeken geen effecten werden gevonden. In dit overzicht worden mogelijke redenen voor deze inconsistenties gepresenteerd en aanbevelingen voor toekomstige EEG-onderzoeken in waaktoestand gedaan. De fysiologische basis van onderliggende hersenactiviteit, en de technische vereisten en randvoorwaarden voor het uitvoeren en analyseren van het EEG bij de mens in rusttoestand worden besproken. Peer-reviewed artikelen over mogelijke effecten van EMV op waak EEG werden geëvalueerd met betrekking tot niet-blootstellingsgerelateerde versturende variabelen. Aanbevelingen afgeleid van internationale richtlijnen voor de analyse en rapportage van bevindingen worden voorgesteld om vergelijkbaarheid in toekomstige studies te bereiken. In totaal werden 22 peer-reviewed onderzoeken naar mogelijke RF-EMV-effecten op het EEG van de mens in rusttoestand geanalyseerd. Het EEG-vermogen in het alfa-frequentiebereik is toegenomen in tien, afgenomen in vier en niet aangetast in acht studies. Alle beoordeelde studies verschillen op verschillende manieren in aspecten van de toegepaste methoden, die kunnen bijdragen aan verschillende resultaten en conclusies over de impact van EMV op het EEG van de mens in rusttoestand. Een bespreking van verschillende studieprotocollen en verschillende uitkomstparameters voorkomt een wetenschappelijk onderbouwde uitspraak over de impact van RF-EMV op de menselijke hersenactiviteit in het EEG in rusttoestand.

Conclusies: Verder onderzoek met vergelijkbare, gestandaardiseerde studieprotocollen wordt aanbevolen.

Effect van radiofrequente elektromagnetische velden van mobiele telefoons op het alfaritme van het menselijk EEG in waaktoestand: een overzicht.

Wallace J, Selmaoui B.

Environ Res. 2019 Aug;175:274-286.

Als reactie op de exponentiële toename van het gebruik van mobiele telefoons en de daaruit voortvloeiende toename van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV), zijn er verschillende onderzoeken geweest om via elektro-encefalografie (EEG) te onderzoeken of blootstelling aan RF-EMV de hersenactiviteit beïnvloedt. Gegevens in de literatuur hebben aangetoond dat blootstelling aan radiofrequente signalen het EEG in waaktoestand wijzigt en het belangrijkste effect op de alfabandfrequentie (8-13Hz). Sommige onderzoeken hebben een toename van het vermogen van de alfaband gemeld, terwijl andere een afname hebben aangetoond en andere onderzoeken geen effect op het EEG-vermogen hebben aangetoond. Gezien het feit dat veranderingen in de alfa-amplitude gepaard gaan met aandacht en enkele cognitieve aspecten van menselijk gedrag, achtten de onderzoekers het noodzakelijk om te kijken of het alfaritme werd gemoduleerd onder blootstelling aan RF-EMV.

Conclusies: Deze review is gericht op het vergelijken en bespreken van de belangrijkste bevindingen tot nu toe met betrekking tot RF-EMV-effecten op het alfaritme van het spontane EEG bij de mens, waarbij de nadruk ligt op verschillen in protocollen tussen studies, die de waargenomen discrepanties en onduidelijke resultaten kunnen verklaren.

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetisch velden en het EEG in rust: onderzoek naar de hypothese van het thermische mechanisme.

Loughran SP, Verrender A, Dalecki A, Burdon CA, Tagami K, Park J, Taylor NAS, Croft RJ.

Int J Environ Res Public Health. 2019 Apr 28;16(9).

Er is sterk bewijs dat blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) het menselijke elektro-encefalogram (EEG) beïnvloedt. Hoewel effecten op de alfaband van het EEG in rust herhaaldelijk zijn aangetoond, zijn de mechanismen die aan dat effect ten grondslag liggen niet vastgesteld. De huidige studie gebruikt goed gecontroleerde methoden om het RF-EMV-blootstellingseffect op het EEG te beoordelen en te bepalen of dat effect mogelijk thermisch wordt gemedieerd. Zesendertig gezonde volwassenen namen deel aan een gerandomiseerde, dubbelblinde, uitgebalanceerde provocatiestudie. Een water-perfusiepak (34 ° C) werd gedurende het onderzoek gedragen om invloeden van buitenaf te weren en de huidtemperatuur te stabiliseren. De deelnemers gingen vier keer naar het laboratorium, de eerste keer was een kalibratiesessie en de drie daaropvolgende keren waren blootstellingssessies. Tijdens elke blootstellingssessie werden EEG en huidtemperatuur (op 8 locaties) continu geregistreerd tijdens een basislijnfase en vervolgens gedurende een blootstelling van 30 minuten aan een GSM-achtig signaal van 920 MHz (schijn, lage RF-EMV (1 W/kg) en hoge RF-EMF (2 W/kg)).

Conclusies: In overeenstemming met eerder onderzoek nam de alfa-EEG-activiteit toe tijdens de hoge blootstellingsomstandigheden in vergelijking met de schijnblootstelling. Als een maat voor thermoregulerende activering bleek de vingertemperatuur hoger te zijn tijdens beide blootstellingsomstandigheden in vergelijking met de schijnblootstelling, wat voor het eerst aangeeft dat het effect op het EEG gepaard gaat met thermoregulerende veranderingen en suggereert dat het effect van RF-EMV op het EEG consistent is met een thermisch mechanisme.

Effect van korte blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op speekselbiomarkers: een onderzoek bij elektrogevoelige personen.

Andrianome S, Yahia-Cherif L, Selmaoui B.

Int J Radiat Biol. 2019 Jun;95(6):788-792.

Sommige personen melden dat ze gevoelig zijn voor elektromagnetische velden. Ze melden een aantal niet-specifieke symptomen zoals hoofdpijn, slaapverstoring, hartkloppingen, jeuk, enz. Het gebrek aan wetenschappelijke objectieve verbanden tussen EHS-symptomen en EMV-blootstelling maakt de diagnose van EHS complexer. Deze studie was gericht op het zoeken naar het effect van blootstelling aan RF EMV op speeksel alfa-amylase (AA) en andere biologische markers zoals cortisol en IgA bij EHS-individuen. Tien EHS-individuen namen deel aan deze dubbelblinde provocatiestudie. Ze waren tussen de 35 en 63 jaar oud. Het experiment bestond uit twee sessies (schijn en echte blootstelling). Er waren geen externe EMV-bronnen toegestaan en de blootstelling bestond uit een reeks EMV-signalen uitgezonden door een generator (Rhode & Schwarz) en een hoornantenne

(Schwarzbeck BBHA9120b). Opeenvolgende RF-signalen werden toegepast: GSM 900, GSM 1800, DECT en Wi-Fi-signalen, elk gedurende 5 minuten. Blootstelling aan 4 opeenvolgende radiofrequentiesignalen vertoonde geen significante modificatie ($p > .05$) op de speeksel AA-, cortisol- of immunoglobuline A-concentraties in de elektrohypersensitieve personen.

Conclusies: Deze studie laat niet toe om een identificatie van de marker voor EHS voor te stellen.

Algemene conclusies voor dit trimester

Een systematische review vindt geen bewijs voor een verhoogd risico op langetermijneffecten van beroepsmatige blootstelling aan elektromagnetische velden.

Twee tijdstrendstudies, een uit Finland en een andere uit Israël, tonen aan dat er geen bewijs is voor een verhoogde incidentie van hersentumoren gedurende de afgelopen 25 jaar.

Sommige onderzoeken proberen de waargenomen verschillen en onduidelijke resultaten in elektro-encefalografische onderzoeken te verklaren en concluderen dat gestandaardiseerde studieprotocollen worden aanbevolen. Er is een aanwijzing dat eventuele effecten op het EEG een thermische origine hebben.

Overzicht van de epidemiologische en klinische studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het derde trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Dr. Maurits De Ridder

Vakgroep volksgezondheid en eerstelijnszorg

Universiteit Gent

Reviews en meta-analyses

5G draadloze communicatie en gezondheidseffecten - een pragmatische review op basis van beschikbare onderzoeken met betrekking tot 6 tot 100 GHz.

Simkó M, Mattsson MO.

Int J Environ Res Public Health. 2019 Sep 13;16(18).

De introductie van de vijfde generatie (5G) van draadloze communicatie zal het aantal basisstations en andere apparaten met hoogfrequente elektromagnetische velden vergroten. De vraag is of dergelijke hogere frequenties (in deze review, 6-100 GHz, millimetergolven, MMW) een gezondheidsimpact kunnen hebben. Deze beoordeling analyseerde 94 relevante publicaties die in vivo of in vitro onderzoeken uitvoerden. Elke studie werd gekarakteriseerd voor: studietype (in vivo, in vitro), biologisch materiaal (soort, celtype, enz.), biologisch eindpunt, blootstelling (frequentie, blootstellingsduur, vermogensdichtheid), resultaten en bepaalde kwaliteitscriteria. Tachtig procent van de in vivo onderzoeken vertoonden reacties op blootstelling, terwijl 58% van de in vitro onderzoeken effecten vertoonden. De reacties beïnvloedden alle onderzochte biologische eindpunten. Er was geen consistent verband tussen vermogensdichtheid, blootstellingsduur of frequentie en blootstellingseffecten.

Conclusies: De beschikbare onderzoeken bieden geen toereikende en voldoende informatie voor een zinvolle veiligheidsbeoordeling of voor de vraag over niet-thermische effecten. Er is behoefte aan onderzoek met betrekking tot lokale warmteontwikkeling op kleine oppervlakken, bijvoorbeeld de huid of het oog, en naar eventuele milieu-effecten. Deze kwaliteitsanalyse laat zien dat toekomstige studies, om nuttig te kunnen zijn voor veiligheidsbeoordeling, ontwerp en implementatie, aanzienlijk moeten worden verbeterd.

Gebruik van mobiele telefoons

Hoofdpijn, oorsuizen en gehoorverlies in de internationale Cohort-studie naar gebruik van mobiele telefoons en gezondheid (COSMOS) in Zweden en Finland.

Auvinen A, Feychting M, Ahlbom A, Hillert L, Elliott P, Schüz J, Kromhout H, Toledano MB, Johansen C, Poulsen AH, Vermeulen R, Heinävaara S, Kojo K, Tettamanti G; COSMOS-studiegroep.

Int J Epidemiol. 2019 Jul 13.

Gebruik van mobiele telefoons en blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) zijn in sommige onderzoeken in verband gebracht met bepaalde symptomen, maar de onderzoeken vertonen tekortkomingen en hun bevindingen zijn inconsistent. De studiegroep heeft een prospectieve cohortstudie uitgevoerd om de associatie tussen de hoeveelheid mobiel telefoongebruik bij aanvang en de frequentie van hoofdpijn, tinnitus of gehoorverlies na 4 jaar follow-up te beoordelen. De deelnemers met abonnementen voor mobiele telefonie bij grote netwerkexploitanten in Zweden (n = 21 049) en Finland (n = 3120), gaven toestemming voor het verkrijgen van hun mobiele telefoongesprekgegevens uit operatorrecords bij baseline en vulden zowel baseline als follow-up vragenlijsten in over symptomen, potentiële verwarrende factoren en verdere kenmerken van het gebruik van hun mobiele telefoon. De deelnemers met het hoogste deciel van opgenomen beltijd (gemiddelde beltijd > 276 min per week) bij aanvang vertoonden een zwakke, suggestieve verhoogde frequentie van wekelijkse hoofdpijn na 4 jaar follow-up (aangepaste odds-ratio 1,13; 95% betrouwbaarheid interval 0,95-1,34). Er was geen duidelijke gradiënt van wekelijkse hoofdpijn met toenemende beltijd (P-trend 0,06). De associatie van hoofdpijn met beltijd was sterker voor het UMTS-netwerk (Universal Mobile Telecommunications System) dan oudere GSM-technologie (Global System for Mobile Telecommunications), ondanks de hogere blootstelling aan RF-EMV. Tinnitus en gehoorverlies vertoonden geen verband met de beltijd.

Conclusies: Mensen die het meest mobiele telefoons gebruikten om te bellen of gebeld te worden bij aanvang, meldden wekelijkse hoofdpijn iets vaker bij de follow-up dan andere gebruikers, maar deze bevinding verdween grotendeels na aanpassing voor confounders en was niet gerelateerd aan de beltijd in GSM met hogere RF-EMF-blootstelling. Tinnitus en gehoorverlies waren niet geassocieerd met de hoeveelheid beltijd.

Onzekerheidsanalyse van het gebruik van mobiele telefoons en het effect ervan op de cognitieve functie: de toepassing van Monte Carlo-simulatie in een cohort van Australische basisschoolkinderen.

Brzozek C, Benke KK, Zeleke BM, Croft RJ, Dalecki A, Dimitriadis C, Kaufman J, Sim MR, Abramson MJ, Benke G.

Int J Environ Res Public Health. 2019 Jul 8;16(13).

Eerdere epidemiologische onderzoeken naar gezondheidseffecten van blootstelling aan straling van mobiele telefoons hebben inconsistente resultaten opgeleverd. Dit kan te wijten zijn aan experimentele moeilijkheden en verschillende bronnen van onzekerheid, zoals statistische variabiliteit, meetfouten en modelonzekerheid. Een analytische techniek die bekend staat als de Monte Carlo-simulatie biedt een aanvullende benadering van analyse door onzekerheid in modelinvoer aan te pakken met behulp van foutkansverdelingen, in plaats van puntbrongegevens. Het doel van dit onderzoek was om aan te tonen met behulp van Monte Carlo-simulatie van gegevens uit de EXPOSURE-studie (onderzoek van psychologische resultaten bij studenten die Radiofrequency dEvices gebruiken) om de onzekerheid in de output van het model te kwantificeren. Gegevens werden twee keer verzameld, ongeveer een jaar uit elkaar (tussen 2011 en 2013) voor 412

deelnemers aan de basisschool in Australië. Monte Carlo-simulatie werd gebruikt om de outputonzekerheid in het model te schatten vanwege onzekerheden in de blootstellingsgegevens van de oproep.

Conclusies: Meerdere lineaire regressiemodellen evalueerden associaties tussen mobiele telefoongesprekken met cognitieve functie en vonden zwak bewijs voor een associatie. Vergelijkbaar met eerdere longitudinale analyses, werden associaties gevonden voor de Go / No Go en Groton doolhof leertaken, en een Stroop-tijdverhouding. Met de introductie van onzekerheidsanalyse kwamen de resultaten echter dichterbij de nulhypothese.

Residentiële blootstelling

Ecologische momentane beoordelingsstudie van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en niet-specifieke fysieke symptomen bij zelfverklarde elektrosensitieven.

Bolte JFB, Clahsen S, Vercrujssse W, Houtveen JH, Schipper CMA, van Kamp I, Bogers R.

Environ Int. 2019 Oct;131:104948.

Het hoofddoel van dit onderzoek is om te bepalen of niet-specifieke fysieke symptomen (NSPS) bij mensen met zelfverklarde gevoeligheid voor radiofrequente elektromagnetische velden (RF EMV) kunnen worden verklaard door blootstelling aan RF EMV. Bovendien hebben de auteurs onderzocht of analyse op individueel niveau of op groepsniveau tot verschillende conclusies kan leiden. Dit is de eerste longitudinale studie waarin de gegevens op individueel niveau worden onderzocht. Een groep van 57 deelnemers was uitgerust met een meetset gedurende vijf opeenvolgende dagen. De meetset bestond uit een op het lichaam gedragen exposimeter die het radiofrequente elektromagnetische veld meet in twaalf frequentiebanden die worden gebruikt voor communicatie, een GPS-logger en een elektronisch dagboek met signalen met willekeurige tussenpozen binnen een interval van twee tot drie uur. Bij elke klacht moest een vragenlijst over de belangrijkste gezondheidsklacht en negen NSPS worden ingevuld. De auteurs analyseerden de (vertraagde) associaties tussen RF-EMV-blootstelling in de opgenomen frequentiebanden en het totale aantal NSPS en de zelf-beoordeelde ernst van de belangrijkste gezondheidsklacht. De manifestatie van NSPS werd bestudeerd gedurende twee verschillende tijdsvertragingen, 0-1 uur en 1-4 uur, na blootstelling en voor verschillende blootstellingsmetingen van RF EMV. De blootstelling werd gekenmerkt door blootstellingsmetrieken die de centrale neiging en de intermittentie van het signaal beschrijven, d.w.z. de tijdgewogen gemiddelde blootstelling, de tijd boven een blootstellingsniveau of de snelheid van verandering metriek.

Conclusies: Op groepsniveau was er geen statistisch significant en relevant (vast effect) verband tussen de gemeten persoonlijke blootstelling aan RF EMV en NSPS. Op individueel niveau, na correctie voor meervoudig testen en confounding, werden significante binnen-persoon associaties gevonden tussen wifi (de zelf vermelde belangrijkste bron) blootstellingsstatistieken en de totale NSPS-score en de ernst van de belangrijkste klacht per deelnemer. Het kan echter niet worden uitgesloten dat deze associatie wordt verklaard door resterende confounding als gevolg van imperfecte controle voor locatie of activiteiten. Daarom moeten de resultaten zeer voorzichtig

worden bekeken. De significante associaties werden gevonden voor de korte en de lange vertraging, maar niet altijd gelijktijdig, dus beide bieden aanvullende informatie. Analyses op individueel niveau kunnen leiden tot verschillende bevindingen in vergelijking met een analyse op groepsniveau.

Menselijk experimenteel onderzoek

Effecten van avondlijke blootstelling aan elektromagnetische velden uitgezonden door 3G mobiele telefoons op de gezondheid en nachtelijke slaap EEG-architectuur.

Lowden A, Nagai R, Åkerstedt T, Hansson Mild K, Hillert L.

J Sleep Res. 2019 Aug;28(4):e12813.

Onderzoek naar de slaap na blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden heeft gemengde resultaten opgeleverd. De auteurs onderzochten de effecten van dubbelblinde blootstelling aan radiofrequentie aan 1930-1990 MHz, UMTS 3G-sigitaalstandaard, tijdgemiddelde 10 g specifieke absorptiesnelheid van 1,6 W/kg op zelf geëvalueerde slaperigheid en objectieve elektro-encefalogramarchitectuur tijdens de slaap. Achttien personen in de leeftijd van 18-19 jaar ondergingen 3,0 uur gecontroleerde blootstelling op twee opeenvolgende dagen 19:45-23:00 uur (inclusief pauze van 15 minuten); actief of schijnvertoning voorafgaand aan de slaap, gevolgd door polysomnografische opnamen van 7,5 uur in de hele nacht in een slaaplaboratorium. In een cross-over ontwerp werd de procedure een week later herhaald onder de tweede voorwaarde. De resultaten voor de slaap-elektro-encefalogramarchitectuur vertoonden geen verandering na blootstelling aan radiofrequentie vergeleken met schijnvertoning, maar analyses van het vermogenspectrum lieten een vermindering van activiteit binnen het langzame spulbereik zien (11.0-12.75 Hz).

Conclusies: Er werden geen verschillen gevonden voor zelf geëvalueerde gezondheidssymptomen, prestaties op de Stroop-kleurentest tijdens blootstelling of voor slaapkwaliteit. Deze resultaten bevestigen eerdere bevindingen dat radiofrequentie na blootstelling 's avonds zeer weinig invloed heeft op de architectuur van het elektro-encefalogram, maar mogelijk op de activiteit van het spindelbereik.

Evaluatie van kortetermijnblootstelling aan wifi-signalen op de reactietijd van studenten, kortetermijngeheugen en redeneervermogen.

Hosseini MA, Hosseini A, Jarideh S, Argasi H, Shekoohi-Shooli F, Zamani A, Taeb S, Haghani M.

Radiat Prot Dosimetry. 2019 Jun 28.

Deze studie onderzocht het effect van kortetermijnblootstelling aan wifi-signalen op de cognitieve functies van de hersenen. Na het verkrijgen van toestemming van de plaatselijke ethische commissie van Shiraz University of Medical Sciences en goedkeuring door de Iranian Registry of Clinical Trials (IRCT2017041233398N1), gaven 45 mannelijke en vrouwelijke studenten van Shiraz University of Medical Sciences zich op om deel te nemen aan dit onderzoek. Ze werden blootgesteld aan wifi-signalen in twee schijn- en blootstellingssessies, elk gedurende 2 uur. Na voltooiing namen ze deel

aan reactietijden-, kortetermijngeheugen- en redeneertests. Na het scoren werden de gegevens geanalyseerd met SPSS-software. Bovendien werden de elektrische veldsterkte en vermogensdichtheid berekend.

Conclusies: De resultaten toonden geen statistisch significante verschillen tussen de gemiddelde scores van reactietijd, kortetermijngeheugen en redeneervermogen bij schijnvertoning en blootstelling. Ook waren de verkregen waarden van de elektrische veldsterkte en vermogensdichtheid ($E = 4,1 \text{ V/m}$, $P = 0,446 \text{ W/m}^2$) lager dan die van drempelwaarden van de Internationale Commissie voor niet-ioniserende stralingsbescherming (ICNIRP).

Algemene conclusies voor dit trimester

De beschikbare onderzoeken naar gezondheidseffecten ten gevolge van 5G-technologie bieden onvoldoende informatie voor een zinvolle veiligheidsbeoordeling.

Het ziet er naar uit dat normaal gebruik van mobiele telefoon geen relevant effect heeft op hersenen.

Experimentele studies 2019

Neoplastische ziekten

In vivo studies - Dierstudies

Het carcinogene potentieel van niet-ioniserende straling: studies met S-50 Hz MV en 1,8 GHz GSM radiofrequente straling.

Soffritti M, Giuliani L.

Basic Clin Pharmacol Toxicol. 2019 Feb 24. doi: 10.1111/bcpt.13215. [Epub ahead of print] Review. PubMed PMID: 30801980.

Epidemiologische studies suggereren dat humane blootstelling aan extreem laagfrequente elektromagnetische velden afkomstig van elektrische voorzieningen en aan radiofrequente elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons aanleiding kan geven tot een verhoogd risico op het ontwikkelen van kwaadaardige tumoren. Er zijn echter nog geen adequate experimentele gegevens beschikbaar, in het bijzonder van lange termijn carcinogeniteitsstudies, die deze epidemiologische gegevens ondersteunen. Naar aanleiding hiervan startte het Ramazzini Instituut met een eerste project bestaande uit 4 langdurige carcinogeniteitsstudies waarbij meer dan 7000 Sprague Dawley ratten van bij het prenatale leven tot aan hun natuurlijke dood werden blootgesteld aan enkel S-50 Hz MV-straling of in combinatie met gammastraling, formaldehyde of aflatoxine B1. De studies werden gelijktijdig opgestart en de resultaten die momenteel beschikbaar zijn, tonen volgens de auteurs aan dat blootstelling aan een sinusoïdaal-50 Hz magnetisch veld (S-50 Hz MV) in combinatie met acute blootstelling aan gammastraling of chronische toediening van formaldehyde in drinkwater resulteert in een significant verhoogde incidentie van kwaadaardige tumoren bij mannelijke en vrouwelijke ratten. Een tweede project bestond uit twee grote levenslange carcinogeniteitsstudies waarbij meer dan 3000 Sprague Dawley ratten werden blootgesteld van de prenatale fase tot aan de natuurlijke dood aan 1,8 GHz straling afkomstig van een mobiele telefoon, alleen of in combinatie met acute blootstelling aan gammastraling. De eerste resultaten van het experiment met 1,8 GHz gsm alleen tonen een statistisch significante toename aan in de incidentie van hartkwaadaardige schwannoom bij mannelijke dieren die aan de hoogste dosis werden blootgesteld.

In vivo studies - Menselijke studies

Significantie van micronuclei aanwezig in buccale uitstrijkjes van gebruikers van mobiele telefoons: Een vergelijkende studie.

Vanishree M, Manvikar V, Rudraraju A, Reddy KMP, Kumar NHP, Quadri SJM.

J Oral Maxillofac Pathol. 2018 Sep-Dec;22(3):448. doi: 10.4103/jomfp.JOMFP_201_18.

De huidige studie werd opgezet om de frequentie van micronuclei (MN) in de buccale geëxfolieerde cellen van mobiele telefoongebruikers te evalueren. Daarnaast werd er ook een vergelijking gemaakt van de MN-frequentie in buccale cellen afkomstig van hoge en lage gebruikers van mobiele telefoons.

In totaal werden 30 mannelijke en 30 vrouwelijke deelnemers binnen de leeftijdsgroep van 20-28 jaar geselecteerd uit de poliklinische afdeling van Navodaya Dental College and Hospital, Raichur, Karnataka. De deelnemers werden onderverdeeld in twee groepen: Groep A - lage gebruikers van mobiele telefoons en groep B - hoge gebruikers van mobiele telefoons. De buccale cellen werden afgenomen bij de deelnemers en overgebracht op microscoopglasjes. Voor elk microscoopglasje werd een totaal van 1000 cellen geëvalueerd op de aanwezigheid en het aantal MN.

Er was een significante stijging van het gemiddeld aantal MN in groep B ten opzichte van groep A. Er was een significant verschil in het gemiddeld aantal MN tussen deelnemers die gebruik maken van CDMA ('code division multiple access') en gsm ('global system for mobile phones') mobiele telefoons. Het gemiddeld aantal MN bleek aanzienlijk hoger te zijn bij deelnemers die geen gebruik maken van hoofdtelefoons dan bij hoofdtelefoongebruikers. In groep B bleek het aantal MN dat werd teruggevonden in de buccale cellen die werden afgenomen aan de kant van het mobiele telefoongebruik statistisch significant hoger te liggen dan bij buccale cellen afkomstig van de andere kant.

De auteurs concluderen op basis van deze resultaten dat mobiele telefoonstraling zelfs binnen de toegestane limieten bij langdurig gebruik significante gentoxiciteit kan veroorzaken. Deze gentoxiciteit zou toenemen wanneer mobiele telefoons frequent aan dezelfde kant worden gebruikt, wat te wijten kan zijn aan de grotere hoeveelheid straling en een stijging in de temperatuur. Het gebruik van een hoofdtelefoon zou de gentoxiciteit ten gevolge van de straling van mobiele telefoons in zekere mate beperken.

In vitro studies

/

Opmerkingen over neoplastische ziekten

Het artikel van Soffriti en collega's bevat geen nieuwe gegevens, maar geeft een overzicht van het werk dat door het Ramazzini instituut werd uitgevoerd met betrekking tot het carcinogeen potentieel van niet-ioniserende straling (zie overzicht in LNE RF 2018(3)). Bovendien was de kwaliteit en de opzet van het onderzoek van Vanishree en collega's onvoldoende [bv. selectiecriteria (inclusief rokers?), aantal cellen dat scoorde op micronuclei, blinde score?,.....] om duidelijke conclusies te kunnen trekken.

Effecten op het zenuwstelsel en neurologische gedragsstoornissen

In vivo studies

Activering van endoplasmatische reticulum stress in de hersenen van ratten na blootstelling aan lage-intensiteit microgolven.

Kumar R, Deshmukh PS, Sharma S, Banerjee B.

Environ Sci Pollut Res Int. 2019 Feb 5. doi: 10.1007/s11356-019-04377-x. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 30721430.

De huidige studie werd ontworpen om de effecten van microgolffstraling met lage intensiteit op endoplasmatische reticulum stress en de 'unfolded protein response' te bestuderen. Experimenten werden uitgevoerd op mannelijke Wistar ratten die gedurende 30 dagen werden blootgesteld aan microgolffstraling met een frequentie van 900 MHz, 1800 MHz of 2450 MHz. De ratten werden onderverdeeld in vier groepen: de schijnblootstellingsgroep, de 900 MHz groep (SAR $5,84 \times 10^{-4}$ W/kg), de 1800 MHz groep (SAR $5,94 \times 10^{-4}$ W/kg) en de 2450 MHz groep (SAR $6,7 \times 10^{-4}$ W/kg). De mRNA expressieniveaus in de hersenen van de rat werden aan het einde van de blootstelling bepaald met behulp van real-time kwantitatieve PCR. Blootstelling aan microgolven bij 900, 1800 en 2450 MHz met respectievelijke SAR-waarden zoals hierboven vermeld veroorzaakten significante wijzigingen ($< 0,05$) in de mRNA expressie van de transcriptiefactoren ATF4, CHOP en XBP1 in functie van de microgolffrequentie. De auteurs van de studie concluderen op basis van deze resultaten dat blootstelling aan lage intensiteit microgolffstraling bij frequenties van 900, 1800 en 2450 MHz resulteert in endoplasmatische reticulum stress en de 'unfolded protein response'.

Vroege blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden van 1850 MHz heeft een invloed op de auditieve circuits in muizen die zich in de vroege postnatale fase bevinden.

Kim JH, Huh YH, Lee JH, Jung JY, Ahn SC, Kim HR.

Sci Rep. 2019 Jan 23;9(1):377. doi: 10.1038/s41598-018-36868-1.

In de huidige studie werden de spontane post-synaptische stromen (sPSCs) ter hoogte van de post-synaptische cellen van de mediale kern van het trapezoïde lichaam ('medial nucleus of the trapezoid body (MNTB)') gemeten bij muizen in de vroege postnatale fase, na blootstelling aan 1850 MHz radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV). sPSC-frequenties en amplitudes waren significant verhoogd in de RF-EMV blootgestelde groep. Bovendien was er een stijging in het aantal synaptische vesikels in de Calyx of Held in de presynaptische zenuwuiteinden. Na RF-EMV blootstelling was er een stijging in het aantal docking synaptische vesikels in de actieve zone, wat resulteerde in een toename van de totale lengte van de presynaptische actieve zone in de Calyx of Held. Deze gegevens suggereren dat de verhoogde sPSC's het gevolg zijn van een stijging in de vrijstelling van vesikels door de presynaptische zenuwen. Er werden echter geen morfologische veranderingen in de binnenste haarselsynapsen gevonden. Verder waren er geen significante veranderingen in de gehoordrempel van de auditieve hersenstamreactie op postnatale dag 15. De resultaten suggereren dat blootstelling aan RF-EMV in een vroeg postnataal stadium een directe impact kan hebben op de auditieve circuits van de hersenstam, maar het lijkt de algemene geluidsperceptie niet te beïnvloeden.

Effect van 900-, 1800- en 2100 MHz radiofrequente straling op DNA en oxidatieve stress in de hersenen.

Alkis ME, Bilgin HM, Akpolat V, Dasdag S, Yegin K, Yavas MC, Akdag MZ.

Electromagn Biol Med. 2019;38(1):32-47. doi: 10.1080/15368378.2019.1567526.

Het alomtegenwoordige en steeds toenemende gebruik van mobiele telefoons heeft geleid tot een groeiende bezorgdheid over de effecten van radiofrequente straling (RFR) van mobiele telefoons op biologische systemen. Het doel van deze studie was om na te gaan of langdurige blootstelling aan RFR bij verschillende frequenties een effect heeft op DNA-schade en oxidant/antioxidant parameters in het bloed en hersenweefsel van ratten. 28 mannelijke Sprague Dawley ratten werden willekeurig onderverdeeld in vier gelijke groepen (n = 7). Ze werden geïdentificeerd als Groep 1: controlegroep met schijnblootstelling, Groep 2: 900 MHz, Groep 3: 1800 MHz en Groep 4: 2100 MHz. Experimentele groepen van ratten werden gedurende 6 maanden 2 uur per dag blootgesteld aan RFR-straling. De ratten uit groep 1 werden onderworpen aan dezelfde experimentele condities, maar de generator werd uitgeschakeld bij deze groep. Specifieke absorptiewaarden (SARs) in de hersenen met 1 g als gemiddelde werden berekend als 0,0845 W/kg, 0,04563 W/kg, en 0,03957 W/kg, bij 900 MHz, 1800 MHz en 2100 MHz respectievelijk. Daarnaast werden malondialdehyde (MDA), 8-hydroxydeoxyguanosine (8-OHdG), totale antioxidant status (TAS) en totale oxidant status (TOS) bepaald in de hersenweefselstalen. De resultaten van de studie toonden aan dat de DNA-schade en de oxidatieve stressindicatoren hoger lagen in de groepen die werden blootgesteld aan RFR straling dan in de groep met schijnblootstelling. Op basis hiervan concludeerden de onderzoekers dat 900-, 1800-, en 2100 MHz RFR-straling die wordt uitgezonden door mobiele telefoons aanleiding kan geven tot een stijging in lipidenperoxidatie en in het optreden van oxidatieve DNA-schade in de frontale kwab van het hersenweefsel bij de rat. Bovendien zou 2100 MHz RFR-straling enkelvoudige DNA-breuken veroorzaken.

In vitro studies

Mobiele telefoon elektromagnetische straling heeft een invloed op Amyloid Precursor Proteïne en α -synucleïne metabolisme in SH-SY5Y cellen.

Stefi AL, Margaritis LH, Skouroliakou AS, Vassilacopoulou D. Pathophysiology.

2019 Mar 1. pii:S0928-4680(18)30352-3. doi: 10.1016/j.pathophys.2019.02.004.

In deze studie werden de effecten bestudeerd van lage-intensiteit elektromagnetisch velden (EMV) uitgezonden door een gsm op Amyloid Precursor Protein (APP) en alfa-synucleïne (α -synucleïne) in menselijke neuroblastoomcellen. De resultaten wijzen op veranderingen in APP-verwerking en cellulaire topologie na blootstelling aan EMV ($E = 10.51$ V/m, SAR = 0.23 W/kg, blootstellingstijd: 3 keer, gedurende 10 minuten, gedurende 2 dagen). Daarnaast werden ook veranderingen in de accumulatie van monomere α -syn en multimerisatie waargenomen, evenals de inductie van oxidatieve stress en celdood. De auteurs concluderen op basis van deze resultaten dat verder onderzoek noodzakelijk is om het mogelijke verband tussen EMV en de moleculaire pathogene mechanismen in de ziekten van Alzheimer en Parkinson te bestuderen.

Opmerkingen over de effecten op het zenuwstelsel en neurologische gedragsstoornissen

Zowel in vitro als in vivo studies over de mogelijk schadelijke effecten van RF op het zenuwstelsel werden gepubliceerd. Geen van de studies laat echter toe om eenvoudige conclusies te trekken over de impact van RF op het zenuwstelsel. De studie van Kumar en collega's is verkennend van aard aangezien uitsluitend het effect van lage-intensiteit microgolfstraling op de mRNA expressie van verschillende transcriptiefactoren die in verband worden gebracht met endoplasmatische reticulum (ER) stress in de hersenen werd bestudeerd. De hypothese van de auteurs dat veranderingen in deze transcriptiefactoren kunnen leiden tot cognitieve stoornissen en geheugenstoornissen werd niet onderzocht en bijgevolg blijft het mogelijke verband tussen de gewijzigde mRNA-expressie en (negatieve) gezondheidseffecten onduidelijk. Ook voor de door Kim en collega's gerapporteerde effecten op auditieve circuits is de relevantie voor de menselijke gezondheid onduidelijk aangezien deze niet geassocieerd waren met veranderingen in de algemene geluidsperceptie.

De interpretatie van de studie van Stefi et al. wordt bemoeilijkt door verschillende methodologische beperkingen (bv. gebruik van een echte gsm als bron van EMV-straling, ...). Bovendien moeten de resultaten van in vitro onderzoek in het algemeen met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien de complexiteit van het zenuwstelsel momenteel niet kan worden nagebootst in een celsysteem. In het algemeen is verder onderzoek nodig om de verschillende verklarende hypothesen van de onderzoekers te testen.

Reproductie- en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

De beschermende rol van spermine tegen mannelijke reproductieve afwijkingen veroorzaakt door blootstelling aan elektromagnetische velden - Een experimenteel onderzoek bij de rat.

Shahin NN, El-Nabarawy NA, Gouda AS, Mégarbane B.

Toxicol Appl Pharmacol. 2019 May 1;370:117-130. doi: 10.1016/j.taap.2019.03.009. Epub 2019 Mar

Volgens de auteurs legt het exponentieel toenemend gebruik van elektromagnetische velden (EMV) uitzendende apparaten een aanzienlijke gezondheidslast op de moderne samenleving, in het bijzonder met betrekking tot de onvruchtbaarheid bij mannen. Slechts in een beperkt aantal studies werd het modulerend effect van protectieve agentia op dit risico onderzocht. De auteurs bestudeerden daarom de ongewenste effecten van blootstelling aan EMV (900 MHz, 2 uur per dag gedurende 8 weken) op de vruchtbaarheid van mannelijke ratten en evalueerden het mogelijke beschermende effect van het polyamine, spermine, op de door EMV-geïnduceerde veranderingen. Blootstelling aan EMV verminderde het aantal, de levensvatbaarheid en de beweeglijkheid van het sperma aanzienlijk, en verhoogde het aantal misvormingen van het sperma. EMV blootgestelde ratten vertoonden significante verminderingen in serum inhibin B en testosteron samen met verhoogde activine A, follikelstimulerend hormoon,

luteïniserend hormoon en oestradiol concentraties. 'Testicular steroidogenic acute regulatory protein' (StAR), c-kit mRNA expressie en de testiculaire activiteiten van de belangrijke androgene enzymen 3 β - en 17 β -hydroxysteroid dehydrogenases waren significant gewijzigd na blootstelling aan EMV. Blootstelling resulteerde in testiculaire lipidenperoxidatie, verminderde catalase en glutathionperoxidase activiteiten en leidde tot overexpressie van nucleaire factor-kappa B p65, induceerbare stikstofoxide synthase, cyclooxygenase-2 en caspase-3. EMV-blootgestelde ratten vertoonden testiculaire DNA-schade zoals aangegeven door de verhoging van een aantal parameters in de komeettest. Toediening van spermine (2,5 mg/kg/dag intraperitoneaal gedurende 8 weken) beschermde tegen de EMV-geïnduceerde veranderingen in het sperma en hormoonprofielen, StAR en c-kit expressie en androgene enzymactiviteiten. Spermine verhinderde de EMV-geïnduceerde, oxidatieve, inflammatoire, apoptotische en DNA-verstoringen. Histologische en histomorfometrische analyse van de testes ondersteunde alle biochemische bevindingen. Op basis van deze resultaten concluderen de onderzoekers dat blootstelling van ratten aan EMV de sperma- en hormoonprofielen verstoort met onderliggende beschadiging van de steroïdogeenese en spermatogenese. Spermine zou dus, ten minste gedeeltelijke, bescherming bieden tegen EMV-geassocieerde testiculaire en reproductieve afwijkingen via anti-oxidatieve, ontstekingsremmende en anti-apoptotische mechanismen.

In vitro studies

/

Opmerkingen over de reproductie- en ontwikkelingseffecten

Shahin en collega's rapporteren over de negatieve effecten van EMV-straling op het mannelijke voortplantingssysteem en de mogelijke bescherming van spermine tegen deze effecten. In het verleden zijn er verschillende studies uitgevoerd naar de impact van RF-straling op de mannelijke vruchtbaarheid, maar de kwaliteit van de meeste van deze studies was laag. Twee meta-analyses van deze studies leverden geen duidelijk bewijs voor consistente negatieve effecten op de kwaliteit van het sperma. Ondanks enkele beperkingen (zo wordt de blootstelling minder gecontroleerd bij bewegende dieren) lijkt de kwaliteit van de studie van Shanin e.a. acceptabel te zijn. Het effect van EMV-straling op de temperatuur is echter niet onderzocht of besproken en daarom kan een mogelijke rol van een temperatuursverandering in de waargenomen effecten niet worden uitgesloten. In het algemeen is meer hoogwaardig onderzoek nodig om de mogelijke nadelige effecten van EMV-straling op het mannelijke voortplantingssysteem verder te onderzoeken.

Andere effecten

In vivo studies

Aluminiumfolie beperkt het negatieve effect van 2100 MHz mobiele telefoon-geïnduceerde straling op de bloedparameters en het myocardium bij ratten.

Kalanjati VP, Purwantari KE, Prasetiowati L.

Environmental Science and Pollution Research. 2019 Feb 26:1-4.

Mobiele telefoons zenden een radiofrequente straling (RFR) uit die negatieve gevolgen kan hebben voor de gezondheid. De auteurs wilden de mogelijke beschermende effecten van aluminiumfolie (AF) als fysiek schild tegen de RFR van mobiele telefoons op de bloedparameters en het myocardium bij ratten onderzoeken. De effecten van blootstelling van het hele lichaam aan 2100 RFR gsm straling (met 0,84-1,86 W/kg SAR) gedurende 4 u/dag voor een periode van 30 dagen op de bloedparameters (d.w.z. hemoglobine, leukocyten, trombocyten, bezinkingssnelheid van de erythrocyten, het aantal differentiële witte bloedcellen, corticosteron, CKMB) en de histologie van het myocardium werden onderzocht. Mannelijke ratten van 3 maand oud (n = 32) werden bestudeerd en gerandomiseerd onderverdeeld in de volgende vier groepen: K1 (niet-AF niet-RFR controle), K2 (AF niet-RFR controle), P1 (niet-AF RFR-blootgestelde), P2 (AF RFR-blootgestelde). De gegevens werden geanalyseerd met een significantieniveau van $p < 0,05$. In P1 werden lagere aantallen leukocyten en neutrofielen en verhoogde corticosterongehaltes gevonden in vergelijking met de controlegroepen, terwijl een significant hogere CKMB werd waargenomen in vergelijking met P2 ($p = 0.034$). Een lagere aantal cardiomyocyten in de gebiedsfractie van het niet-fibrotische myocard werd waargenomen in P1 in vergelijking met de andere groepen ($p < 0,01$). Op basis hiervan besluiten de onderzoekers dat AF de inflammatoire-oxidatieve stress in de bloedcellen en het myocardium van knaagdieren ten gevolge van blootstelling aan radiofrequente straling van de mobiele telefoons zou kunnen verminderen.

In vitro studies

De rol van NF- κ B activatie in stromale beenmergcellen van de muis blootgesteld aan 900-MHz radiofrequentievelden (RF).

Zong L, Gao Z, Xie W, Tong J, Cao Y. J

Toxicol Environ Health A. 2019;82(1):46-51. doi: 10.1080/15287394.2018.1553372. Epub 2019 Jan 31. PubMed PMID: 30704354.

'Nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B-cells (NF- κ B)' is een primaire transcriptiefactor die een sleutelrol speelt in verschillende cellulaire processen waaronder proliferatie en overleving. Volgens de auteurs is het bekend dat blootstelling aan niet-ioniserende radiofrequente velden (RF's), die alomtegenwoordig zijn, resulteert in een interactie met cellulaire componenten. Het doel van de studie was daarom om te onderzoeken of blootstelling van stromale beenmergcellen afkomstig van de muis (BMSC) aan RF ook resulteert in cellulaire interacties. BMSC werden blootgesteld aan 900 MHz RF bij 120 μ W/cm² vermogen intensiteit gedurende 4 uur per dag voor 5 opeenvolgende dagen. De relatieve

eiwitexpressieniveaus van NF- κ B in het cytoplasma en de kern van RF-blootgestelde cellen werden vergeleken met die van niet-RF-blootgestelde controles. 30 minuten na RF-blootstelling was er een significante daling in de eiwitexpressie van NF- κ B in het cytoplasma die gepaard ging met een gelijktijdige stijging van de nucleaire NF- κ B eiwitexpressieniveaus. Gelijkaardige veranderingen werden waargenomen in de cytoplasmatische en de nucleaire NF- κ B-niveaus na 2 uur waarbij de waarden terugkeerden naar de controleconcentraties van de primaire transcriptiefactor 24 uur na de RF-behandeling. Dagelijkse incubatie met BAY 11-7082, een inhibitor van NF- κ B, gedurende 90 minuten voor een periode van 5 dagen, gevolgd door blootstelling aan RF, verhinderde de daling in cytoplasmatische NF- κ B en de stijging van de nucleaire primaire transcriptiefactor na 30 min en 2 uur. Er waren geen duidelijke veranderingen op 24 uur. Op basis van deze gegevens concluderen de onderzoekers dat de effecten van RF-behandeling op BMSC gepaard gaan met een transiënte activering van NF- κ B, die kan worden toegeschreven aan RF-gemedieerde cellulaire verstoring, zoals blijkt uit de gevolgen van BAY 11-7082 inhibitie.

Opmerkingen over andere effecten

De relevantie van beide studies voor de beoordeling van de mogelijke schadelijke gevolgen van RF-straling voor de menselijke gezondheid is zeer beperkt. Met name voor het tweede onderzoek hadden de gemelde effecten betrekking op voorbijgaande kleine moleculaire veranderingen die zich kunnen voordoen wanneer cellen worden blootgesteld aan een milde cellulaire stress, ongeacht de oorsprong ervan.

Elektromagnetische hypergevoeligheid

Effect van korte blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op speeksel biomerkers: een studie bij elektrohypersensitieve individuen.

Andrianome S, Yahia-Cherif L, Selmaoui B.

International journal of radiation biology. 2019 Jan 31:1-5.

Sommige mensen melden dat ze gevoelig zijn voor elektromagnetische velden. Zij rapporteren een aantal niet-specifieke symptomen zoals hoofdpijn, slaapstoornissen, hartkloppingen, jeuk, enz. Het gebrek aan een objectieve wetenschappelijk verband tussen EHS-symptomen en blootstelling aan EMV maakt de diagnose van EHS complexer.

Het huidige studie had als doel om het effect van blootstelling aan RF-EMV op speeksel alfa-amylase (AA) en andere biologische merkers zoals cortisol en IgA bij EHS-patiënten te onderzoeken.

Tien EHS-personen namen deel aan deze dubbelblinde provocatiestudie. Ze waren tussen de 35 en 63 jaar oud. Het experiment bestond uit twee sessies (schijn- en echte blootstelling). Externe EMV bronnen waren niet toegestaan, en de blootstelling bestond uit een reeks van EMV signalen uitgezonden door een generator (Rhode & Schwarz) en een hoornantenne (Schwarzbeck BBHA9120b). Opeenvolgende RF-signalen werden aangewend: GSM 900, GSM 1800, DECT en Wi-Fi signalen, telkens gedurende 5 minuten.

Blootstelling aan 4 opeenvolgende radiofrequentiesignalen induceerde geen significante wijziging ($p > .05$) op de speeksel AA, cortisol of immunoglobuline A concentraties in de elektrohypersgevoelige personen. Op basis van deze resultaten besluiten de onderzoekers dat, onder de onderzochte omstandigheden, het momenteel niet mogelijk is om een marker voor EHS voor te stellen.

Opmerking

De studie is vooral verkennend van aard en levert geen nieuwe inzichten op met betrekking tot elektrohypersensitiviteit.

Aanvullende informatie: Andere benaderingen om het effect van RF-straling op celsystemen te bestuderen

Naar het voorspellen van intracellulaire radiofrequente stralingseffecten.

Nielsen C, Hui R, Lui WY, Solov'yov IA.

PLoS One. 2019 Mar 14;14(3):e0213286. doi: 10.1371/journal.pone.0213286. eCollection 2019. PubMed PMID: 30870450; PubMed Central PMCID: PMC6417702.

In een aantal recente experimenten werd een effect van zwakke radiofrequente magnetische velden in het MHz-bereik op de concentraties van reactieve zuurstofsoorten (ROS) in levende cellen waargenomen. Aangezien de grootteorde van de energie die mogelijks kan worden afgezet door de straling veel kleiner is dan deze van de energie van moleculaire thermische beweging, werd gesuggereerd dat het effect werd veroorzaakt door de interactie van RF magnetische velden met voorbijgaande radicale paren in de cellen, waarbij de ROS vorming wordt beïnvloed door het 'radical pair' mechanisme. Het is echter op dit moment niet helemaal duidelijk hoe de effecten van RF magnetische velden bij bepaalde veldfrequentie en intensiteit in nanoschaal biomoleculaire systemen kunnen worden voorspeld. De auteurs van dit artikel stellen een mogelijke benadering voor de interpretatie van de radiofrequente effecten in cellen voor aan de hand van een algemene workflow voor de berekening van de reactieve verstoringen in een cel in functie van RF magnetische veldsterkte en frequentie. Om de workflow te rechtvaardigen, werden de effecten van radiofrequente magnetische velden op generieke spin-systemen besproken om onder andere te illustreren hoe de reactieve radicalen kunnen worden beïnvloed door specifieke parameters van het experiment. De auteurs argumenteren dat de voorgestelde workflow kan worden gebruikt om de effecten van radiofrequente magnetische velden op radicale paren in biologische cellen te voorspellen, wat vooral belangrijk is voor draadloze oplaadtechnologieën waarbij men moet weten of blootstelling aan dergelijke straling schadelijke effecten kan veroorzaken.

Opmerkingen

Nielsen et al probeerden een algemene workflow op te stellen om te bestuderen hoe RF-velden kunnen interageren met moleculaire processen. De auteurs merken hierbij het volgende op: "De hier beschreven workflow is een algemeen kader dat kan worden toegepast op veel verschillende fysieke systemen, zelfs niet beperkt tot radicale paren. In feite zouden veel complexen met metaalionen een aantal ongepaarde elektronen kunnen bevatten, die de rol van een van de radicalen in een radicaal paar zou kunnen uitoefenen, met als belangrijkste verschil het spin kwantum getal. De belangrijkste uitdaging om de waargenomen RF-magnetische-veldeffecten in cellen te verklaren bestaat daarom uit het vinden van de cellulaire processen die kunnen worden beïnvloed, en om experimenten op te zetten om inzicht te krijgen in de omvang van eventuele RF-veldeffecten. Theoretische berekeningen zoals deze voorgesteld door de auteurs kunnen zowel helpen bij het verklaren van waargenomen effecten van RF-velden, evenals bij het maken van voorspellingen over frequentieranges waarvoor experimenteel onderzoek naar de effecten nodig zijn."

Dit artikel valt enigszins buiten de scope van dit literatuuroverzicht: het bevat inderdaad theoretische berekeningen en gaat niet rechtstreeks over mobiele communicatie, maar over een andere toepassing van RF-magnetisch veld, meer bepaald de draadloze oplaadtechnologie.

*Op basis van een gesprek met Xaveer Van Ostade (UAntwerp) over de relevantie van deze studie, werd toch beslist om het artikel ter informatie op te nemen in dit literatuuroverzicht. Prof. dr. Van Ostade gaf de volgende opmerkingen: De algemene redenering van Solov'yov's team is dat bepaalde netvliescellen, vooral bij vogels, maar mogelijk ook bij *Drosophila* en andere soorten, een op cytochroom/FAD-gebaseerde magnetoreceptor hebben die gevoelig is voor kleine (geo)magnetische velden via een evenwicht tussen singlet- en tripletradicale. Vervolgens extrapoleren ze deze hypothese naar andere cellen die deze magnetoreceptor niet tot expressie brengen, maar in zekere mate radicalen vormen, zoals in de mitochondriën (ze suggereren het cytochroom bc1 complex). Deze cellen bezitten dus geen gespecialiseerde "magnetoreceptoren", maar zouden niettemin in zekere mate gevoelig zijn voor bepaalde MVs. Om dit te onderzoeken, ontwikkelden de onderzoekers een model dat kan worden gebruikt om de effecten van RF magnetische velden op radicale paren te voorspellen. Dit artikel is louter theoretisch: ze hebben hun model niet getest met een reële situatie in celculturen.*

Algemene opmerkingen

De meeste studies in dit document rapporteren in vitro of in vivo effecten met betrekking tot RF-blootstelling. De betekenis van deze effecten blijft echter onduidelijk. Bovendien wordt in de meeste studies de dosimetrie niet duidelijk beschreven, evenmin als het hanteren van (dubbel)blinde condities. In het algemeen vereisen de resultaten een verdere grootschalige analyse.

LNE RF 2019(2)NL

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het tweede trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Birgit Mertens, Maryse Ledent & Thi Thu Ha Nguyen
Sciensano, Risk Assessment unit

Reviews

Saliev T, Begimbetova D, Masoud AR, Matkarimov B. Biologische effecten van niet-ioniserende elektromagnetische velden: de twee kanten van dezelfde medaille. Prog Biophys Mol Biol. 2019 Jan;141:25-36. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.009. Epub 2018 Jul 17. Review. PubMed PMID: 30030071.

Controversiële, sensationele en vaak tegenstrijdige wetenschappelijke rapporten hebben aanleiding gegeven tot actieve debatten over de biologische effecten van elektromagnetische velden (EMV's) in de literatuur en de massamedia van de laatste decennia. Dit kan leiden tot verwarring en afleiding, waardoor het formuleren van een eenduidige conclusie over de werkelijke gevaren van EMV's voor de mens wordt belemmerd. Er zijn bijvoorbeeld veel publicaties die aangeven dat EMV's apoptose en DNA-streng breuken in cellen kunnen veroorzaken. Aan de andere kant zouden deze effecten ook een gunstige impact kunnen hebben, in die zin dat ze effectief zouden kunnen worden ingezet voor de behandeling van verschillende aandoeningen, waaronder kanker. Dit overzicht bespreekt en analyseert de resultaten van verschillende *in vitro*, *in vivo* en epidemiologische studies over de effecten van niet-ioniserende EMV's op cellen en organen, met inbegrip van de gevolgen van blootstelling aan het laag- en hoogfrequente EM-spectrum. De nadruk wordt gelegd op de analyse van recente gegevens over de rol van EMV in de inductie van oxidatieve stress en DNA-schade. Daarnaast wordt de impact van EMV op het voortplantingssysteem besproken, evenals de relatie tussen EM-straling en bloedkanker. Naast de negatieve effecten wordt ook het therapeutisch potentieel van EMV's voor klinisch gebruik in verschillende ziekteaandoeningen benadrukt.

Sienkiewicz Z, van Rongen E. Kan lage blootstelling aan radiofrequentievelden het cognitief gedrag bij proefdieren beïnvloeden? Een systematisch overzicht van de literatuur met betrekking tot ruimtelijk leren en plaatsherkenning. Int J Environ Res Public Health. 2019 May 8;16(9). pii: E1607. doi: 10.3390/ijerph16091607. Review. PubMed PMID: 31071933; PubMed Central PMCID: PMC6539921.

In dit overzichtsartikel wordt nagegaan of lage blootstelling aan radiofrequentie (RF) velden, meestal geassocieerd met mobiele telefoontechnologie, het cognitieve gedrag van proefdieren kan beïnvloeden. Studies werden genomineerd voor opname in dit overzichtsartikel met behulp van een a priori gedefinieerd protocol met pre-geselecteerde criteria. Studies met onvoldoende details over de blootstelling, dosimetrie of het experimenteel protocol, of waarbij geen groep met schijnblootstelling werd gebruikt, werden niet opgenomen in de analyse. In totaal werden 62 studies geïdentificeerd die de effecten van RF-velden op het ruimtelijk geheugen en het herkennen van plaatsen hebben onderzocht

en die gepubliceerd werden sinds 1993. Van deze 62 studies werden er 17 studies uitgesloten, 20 studies meldden geen significante RF-gerelateerde effecten, 21 studies rapporteerden significante ongewenste effecten en vier studies meldden gunstige gevolgen van RF-velden. De gegevens laten niet toe om te besluiten of de uiteenlopende resultaten zijn gerelateerd aan specifieke verschillen in blootstelling of testomstandigheden, of dat ze gewoon het gevolg zijn van het toeval. In sommige studies werden echter wel mogelijke moleculaire mechanismen voor de waargenomen effecten gesuggereerd, maar geen van deze werden onderbouwd door onafhankelijke replicatie. Verder onderzoek naar de impact van RF-velden op het gedrag van proefdieren kan nuttig zijn om meer duidelijkheid te brengen. Er wordt echter voorgesteld om bij dit bijkomend onderzoek een consistent diermodel te gebruiken met gestandaardiseerde blootstellings- en testprotocollen en met gedetailleerde dosimetrie door middel van heterogene, anatomisch-realistische diermodellen.

Neoplastische ziekten

In vivo studies - Dierstudies

/

In vitro studies

/

Zenuwstelseffecten en neurologische gedragsstoornissen

In vivo studies

Altunkaynak BZ. Onderzoek naar de neuroprotectieve effecten van thymoquinone op het ruggenmerg van ratten blootgesteld aan 900 MHz elektromagnetisch veld. Journal of chemical neuroanatomy. 2019 Jun 19:101657.

Blootstelling aan EMV bij langdurig gebruik van mobiele telefoons heeft de bezorgdheid over ernstige gezondheidsproblemen doen toenemen. Het doel van deze studie was om de mogelijke effecten van EMV-straling (60 min/dag gedurende 28 dagen) op het ruggenmerg van 12 weken oude ratten te onderzoeken. Daarnaast hebben de auteurs onderzocht of de toediening van thymoquinone (10 mg/kg/dag) het ruggenmergweefsel kan beschermen tegen de schadelijke effecten van EMV. Vierentwintig volwassen mannelijke Wistar albino-ratten werden willekeurig onderverdeeld in vier groepen: (i) controle; (ii) EMV; (iii) thymoquinone en (iv) EMV + thymoquinone. Het cervicale ruggenmerg van alle ratten werden onderzocht met behulp van de stereologische, biochemische en histologische methoden. Het aantal motorneuronen was verminderd in de EMV-groep in vergelijking met de controlegroep ($p < 0,05$). Het superoxide dismutase niveau was hoger in de EMV-groep in vergelijking met de controlegroep ($p < 0,05$). In de EMV + thymoquinone groep vonden de auteurs een toename van het aantal motorneuronen en een afname van de superoxide dismutase activiteit in vergelijking met het EMV-groep ($p < 0,05$). Het histologische onderzoek toonde ook opmerkelijke architectonische veranderingen aan. De auteurs suggereren op basis van deze resultaten dat EMV-straling morfologische

en biochemische schade aan het ruggenmergweefsel van ratten induceert en dat toediening van een antioxidant, thymoquinone, in staat is om bescherming te bieden tegen de complicaties veroorzaakt door EMV-velden.

Reproductie- en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

Guo L, Lin JJ, Xue YZ, An GZ, Zhang JP, Zhang KY, He W, Wang H, Li W, Ding GR. Effecten van 220 MHz gepulseerde gemoduleerde radiofrequentievelden op de kwaliteit van het sperma bij ratten. International journal of environmental research and public health. 2019 Jan;16(7):1286. pii: E1286. doi: 10.3390/ijerph16071286. PubMed PMID: 30974849; PubMed Central PMCID: PMC6480634.

Volgens de auteurs worden werknemers onder bepaalde beroepsomstandigheden onvermijdelijk blootgesteld aan hoog-intensieve radiofrequentievelden (RF). In deze studie worden de effecten van blootstelling gedurende één maand aan een 220 MHz gepulseerd gemoduleerd RF-veld bij een vermogensdichtheid van 50 W/m² op de kwaliteit van het sperma bij volwassen mannelijke ratten onderzocht. De kwaliteit van het sperma werd geëvalueerd door het aantal, de afwijkingen en de overlevingskans van de zaadcellen te meten. De morfologie van de testes werd onderzocht door een hematoxyline-eosine (HE) kleuring. De niveaus van de secretiefactoren door Sertolicellen (SC's) en Leydig-cellen (LC's) werden bepaald door middel van enzyme linked immunosorbent assay (ELISA). Het niveau van 'cleaved caspase 3' in de testis werd bepaald door immunofluorescentiekleuring. Tenslotte werden de expressieniveaus van het apoptose-gerelateerde eiwit (caspase 3, BAX en BCL2) in de testes geëvalueerd aan de hand van Western blotting. Vergeleken met de schijnblootstellingsgroep was de kwaliteit van het sperma in de RF-groep aanzienlijk afgenomen. De niveaus van de secretiefactoren van de SC's en de morfologie van de testes vertoonden een duidelijke verandering na blootstelling aan RF. Het gehalte van de secretiefactor van LCs daalde aanzienlijk na blootstelling aan RF. De niveaus van 'cleaved caspase 3', caspase 3 en de BAX/BCL2-verhouding in de testis waren duidelijk verhoogd na blootstelling aan RF. Op basis van deze resultaten concluderen de auteurs dat onder de huidige experimentele omstandigheden, 220 MHz gepulseerde gemoduleerde RF-blootstelling de kwaliteit van het sperma bij ratten kan beïnvloeden, en dat de verstoring van de secreterende functie van LCs en de verhoogde apoptose van testiscellen geïnduceerd door het RF-veld mogelijk verantwoordelijk is voor dit schadelijke effect.

Andere effecten

In vivo studies

Recordati C, De Maglie M, Marsella G, Milite G, Rigamonti A, Paltrinieri S, Scanziani E. Langetermijnstudie naar de effecten van huisvesting van C57BL/6NCrI Muizen in kooien uitgerust met draadloze technologie die elektromagnetische velden met een extreem lage intensiteit genereren. Toxicol Pathol. 2019 May 22:192623319852353. doi: 10.1177/0192623319852353. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 31117895.

De recente ontwikkeling van muizenkooien uitgerust met draadloze monitoring technologie deed vragen rijzen over de mogelijke effecten op dieren veroorzaakt door EMV's gegenereerd door elektronische borden die onder de kooien worden geplaatst. Het doel van deze studie was om de EMV geproduceerd door digitaal geventileerde kooien (DVC) te karakteriseren en een clinicopathologische studie uit te voeren op muizen die tot 1 jaar in DVC werden gehouden. De EMV's werden gemeten in lege individueel geventileerde kooien (IVC) en DVC. Mannelijke (n = 160) en vrouwelijke (n = 160) C57BL/6NCrI muizen werden willekeurig gehuisvest in IVC en DVC in een enkel rek, 4 muizen per kooi. Lichaamsgewicht en voedsel- en waterverbruik werden geregistreerd met tussenpozen van 14 dagen. Na het euthanaseren van de dieren (dagen 60, 120, 180, en 365), werd het lichaams- en testesgewicht gemeten en werden necropsie, hematologie, beenmergcytologie, histologie en immunohistochemie voor 'cleaved caspase 3' op de testes uitgevoerd. Digitaal geventileerde kooien produceerden extreem lage intensiteit elektrische velden, variërend van 5 Hz tot 3 GHz. Er werden geen blootstelling-gerelateerde klinische effecten of sterfte waargenomen. Occasionele statistische verschillen in lichaamsgewicht, voedsel- en waterverbruik, hematologie, beenmerg en histopathologie werden geregistreerd, maar werden niet als biologische of klinische relevant beschouwd. Op basis van deze resultaten concluderen de auteurs dat lange termijn huisvesting in DVC geen duidelijke effecten heeft op C57BL/6NCrI muizen.

In vitro studies

Jooyan N, Goliaei B, Bigdeli B, Faraji-Dana R, Zamani A, Entezami M, Mortazavi SMJ. Directe en indirecte effecten van blootstelling aan 900 MHz GSM radiofrequentie elektromagnetische velden op de CHO cellijn: Bewijs voor 'bystander' effect door niet-ioniserende straling. Environ Res. 2019 Jul;174:176-187. doi: 10.1016/j.envres.2019.03.063. Epub 2019 Apr 26. PubMed PMID: 31036329.

De snelle toename van de wereldwijde bezorgdheid over de schadelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequentie straling (RFR) die wordt veroorzaakt door dagdagelijkse apparaten zoals mobiele telefoons, heeft wetenschappers ertoe aangezet om de biologische effecten van deze omgevingsblootstelling verder te onderzoeken. 'Non-targeted effects (NTEs)' zijn reacties die geen directe blootstelling nodig hebben om tot uitdrukking te komen en die vooral belangrijk zijn bij lage energie-uitstraling. Hoewel NTEs van ioniserende straling goed gedocumenteerd zijn, zijn er nauwelijks studies over NTEs zoals het bystander-effect (BE) na blootstelling aan niet-ioniserende straling. Het hoofddoel van dit onderzoek is om mogelijke RFR-geïnduceerde BE te bestuderen.

Chinese hamster eierstokcellen werden blootgesteld aan een RFR van 900 MHz met een gemiddelde specifieke absorptiesnelheid (SAR) van 2 W/kg gedurende 4, 12 en 24 uur (u). Om een gelijkmatig verdeeld elektromagnetisch veld te genereren en externe RF-blootstellingen te vermijden werd een speciale opstelling ontworpen en gebruikt. Celmembraanpermeabiliteit, celredoxactiviteit, metabole en mitotische celdood en DNA-schade werden geanalyseerd. Vervolgens werden de meest effectieve blootstellingsduur en statistisch significant gewijzigde parameters gekozen om de inductie van BE door middel van de 'medium transfer procedure' te evalueren. Daarnaast werden de intra- en extracellulaire reactieve zuurstofspecies (ROS) niveaus gemeten om het moleculaire mechanisme van BE geïnduceerd door niet-ioniserende straling te onderzoeken.

Er werden geen statistisch significante veranderingen gevonden in de celmembraanpermeabiliteit, de celredoxactiviteit, de metabole celactiviteit en de micronuclei (MN) frequentie in de cellen die direct werden blootgesteld aan RFR gedurende 4, 12 of 24 uur. Daarentegen veroorzaakte RFR-blootstelling gedurende 24 uur wel een statistisch significante afname van het clonogene vermogen en een statistisch significante toename in het 'olive tail moment' in zowel direct blootgestelde als bystander cellen die werden behandeld met media van RFR-blootgestelde cellen (geconditioneerd kweekmedium; CCM). Blootstelling aan RFR resulteerde ook in statistisch significant verhoogde intra-en extracellulaire ROS-gehaltenes.

Volgens de auteurs tonen deze waarnemingen duidelijk de inductie van BE aan in cellen die behandeld zijn met CCM. Voor zover hen bekend, is dit het eerste rapport dat niet-ioniserende straling (900 MHz GSM RFR) een bystander effect kan induceren. Zij suggereren ook dat, zoals reeds werd gerapporteerd voor ioniserende straling, deze resultaten aantonen dat ROS mogelijk een belangrijke rol spelen in het indirect effect van RFR. Aan de andere kant werd volgens hen met deze studie ook het belang van ROS in het direct effect van RFR aangetoond.

García-Minguillán López, O., Jiménez Valbuena, A., & Maestú Unturbe, C. (2019). *In vitro* studie naar het verband tussen de cellulaire levensvatbaarheid en het tijdstip van blootstelling aan ELF-EMF en RF-EMF. *International journal of environmental research and public health*, 16(12), 2085.

De bezorgdheid van de mens over de mogelijke effecten van EMV's is in de loop van de tijd verschoven van bezorgdheid mbt de effecten van EMV's van extreem lage frequenties (ELF's) naar deze van radiofrequentie (RF) als gevolg van de ontwikkeling van nieuwe technologieën en vormen van communicatie. Eerdere studies hebben reeds de effecten geanalyseerd die bij verschillende frequenties worden geproduceerd zonder in detail rekening te houden met het effect van het tijdstip van blootstelling. In deze studie werd daarom *in vitro* het effect van een 100 µT EMV bij verschillende ELF's en blootstellingstijden in glioblastomen geanalyseerd, evenals het effect dat in een fibroblasten wordt geproduceerd door een RF-EMV van 2,54 GHz. De resultaten wijzen op een significant tijdsafhankelijk effect op de levensvatbaarheid van fibroblasten die werden blootgesteld aan een RF-EMV van 2,54 GHz. In glioblastomen blootgesteld aan een ELF-EMV werd een niet-tijdsafhankelijk effect in de levensvatbaarheid van de cellen waargenomen. De auteurs concluderen op basis van deze resultaten het belang van een mogelijke relatie tussen de EMV-frequentie en de tijd van de blootstelling benadrukken.

Le pogam, P., Le Page, Y., Habauwit, D., Doue, M., Zhadobov, M., Sauleau, R., Le Drean, Y., & Rondeau, D. *Untargeted metabolomics onthullen veranderingen in de permeabiliteit van biomembranen in humane HaCaT keratinocyten na 60GHz millimeter-golf blootstelling. Scientific Reports. 2019 June.*

Een gecombineerde metabolomische en lipidomische workflow werd gehanteerd om het potentieel effect van millimetergolven (MMW) rond 60 GHz op biologische weefsels te onderzoeken. Humane HaCaT keratinocyten werden blootgesteld aan 60,4 GHz met een vermogensdichtheid van 20 mW/cm², een waarde die overeenkomt met de bovenste lokale blootstellingsgrenswaarde voor het grote publiek in de context van een grootschalige gebruik van MMW technologieën en apparaten. Na een 24-uurs

blootstelling werden endo- en extracellulaire extracten verzameld en geanalyseerd aan de hand van een integratieve UPLC-Q-Exactieve metabolomische en lipidomische workflow. R-XCMS dataverwerking en de daaropvolgende statistische verwerking resulteerde in de herkenning van een beperkt aantal gewijzigde functies in lipidomische sequenties en in intracellulaire metabolomische analyses, ongeacht de ionisatiemodus (d.w.z. 0 tot 6 ontregelde functies). Anderzijds werden belangrijke ontregelingen waargenomen in de extracellulaire metabolomische profielen waarbij 111 en 99 frames werden gewijzigd bij MMW blootstelling in positieve en negatieve polariteit, respectievelijk. De auteurs wijzen erop dat deze onverwachte omvang van deze wijzigingen nauwelijks kan voortvloeien uit de beperkte veranderingen die werden waargenomen in de transcriptomics studies en formuleren daarom de hypothese dat MMW de permeabiliteit van celmembranen kan veranderen, zoals reeds elders werd gerapporteerd.

Tsoy A, Saliev T, Abzhanova E, Turgambayeva A, Kaiyrylyzy A, Akishev M, Saparbayev S, Umbayev B, Askarova S. De effecten van mobiele telefoon radiofrequentie elektromagnetische velden op β -amyloïde-geïnduceerde oxidatieve stress in humane en rat primaire astrocyten. *Neuroscience*. 2019 Jun 1;408:46-57.

Amyloïde bèta-peptide ($A\beta$) is betrokken bij de ontwikkeling van pathologische reacties geassocieerd met de ziekte van Alzheimer (AD), zoals oxidatieve stress, neuro-inflammatie en de dood van hersencellen. De huidige farmacologische benaderingen voor de behandeling van AD zijn niet in staat om de depositie van $A\beta$ en de onderdrukking van $A\beta$ -geïnduceerde cellulaire respons te controleren. Er is een toenemend aantal aanwijzingen dat blootstelling aan radiofrequentie elektromagnetische velden (RF-EMF) een afname van bèta-amyloïde afzetting in de hersenen veroorzaakt en cognitieve voordelen biedt voor Alzheimer Tg muizen. In de huidige studie onderzochten de auteurs de effecten van mobiele telefoon radiofrequentie EMV van 918 MHz op de vorming van reactieve zuurstofsoorten (ROS), de mitochondriale membraanpotentiaal (MMP), de activiteit van NADPH-oxidase en de fosforylering van p38MAPK en ERK1/2 kinasen in humane en rat primaire astrocyten in aanwezigheid van $A\beta_{42}$ en H_2O_2 . Gegevens tonen aan dat EMV in staat is om $A\beta_{42}$ - en H_2O_2 -geïnduceerde cellulaire ROS te verminderen, de $A\beta_{42}$ -geïnduceerde productie van mitochondriale ROS en de co-lokalisatie tussen de cytosolische (p47-fox) en membraan (gp91-fox) subeenheden van NADPH oxidase te verhinderen, en daarnaast het MMP te verhogen, en de H_2O_2 -geïnduceerde fosforylering van p38MAPK en ERK1/2 in primaire astrocyten af te remmen. Toch was EMV niet in staat om veranderingen in de fosforyleringstoestand van de MAPKs veroorzaakt door $A\beta_{42}$ te moduleren. De auteurs besluiten dat deze bevindingen meer inzicht geven in de mechanismen van de cellulaire en moleculaire reacties van astrocyten op RF-EMV blootstelling en in het therapeutisch potentieel van RF-EMV voor de behandeling van de ziekte van Alzheimer.

Tomruk A, Terzi YK, Guler GO. Beoordeling van de effecten van radiofrequentie straling op menselijke colon-epitheelcellen. *Bratislavske lekarske listy*. 2019;120(4):299-308.

Het doel van de studie was om de mogelijke effecten van radiofrequentie straling (RFR) bij verschillende frequenties en verschillende blootstellingstijden op caspase-afhankelijke apoptose pathways in humane colon adenocarcinoom (HT-29) cellen te onderzoeken.

HT-29 cellen werden blootgesteld aan RFR van 1800 MHz; 2100 MHz en 2600 MHz voor 3 uur cont., 6 uur int. en 6 uur cont. Metingen van de levensvatbaarheid van de cellen werden uitgevoerd aan de hand van de Trypan Blue uitsluitingstest en de genexpressies van CASP8, CASP9, CASP3 en CASP12 werden geanalyseerd met qRT-PCR.

Blootstelling aan een RFR van 2100 MHz was voor alle 3 de blootstellingsscenario's effectiever voor de verhouding van het aantal levensvatbare HT-29 cellen in vergelijking tot 1800 MHz RFR en 2600 MHz RFR-blootstellingen. Na 2100 MHz RFR-blootstelling nam de caspase activatie significant toe (voor 3u cont. en 6u int. blootstellingen CASP8 en CASP9 niveaus; voor 6u cont. blootstelling CASP3 niveaus) ($p < 0,05$).

De auteurs geven aan dat de verminderde levensvatbaarheid van HT-29-cellen bij bepaalde frequenties en blootstellingsduur consistent zijn met de significante stijging in caspaseactivatie. Bovendien suggereren de auteurs dat de resultaten van caspase activatie na 1800 MHz of 2600 MHz RFR-blootstelling kunnen worden geïnterpreteerd als de activatie van verschillende types van pathways mbt celdood door caspase signaal cascades.

Effecten op planten

Chandel S, Kaur S, Issa M, Singh HP, Batish DR, Kohli RK. Beoordeling van de onmiddellijke en late effecten van gsm-straling bij 2100 MHz op de mitotische activiteit en DNA-integriteit in de wortelmeristemen van *Allium cepa*. Protoplasma. 2019 May 21. doi: 10.1007/s00709-019-01386-y. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 31115694.

De huidige studie evalueerde het cytotoxische en genotoxisch potentieel van 2100 MHz radiofrequentie straling. Wortels van verse uien (*Allium cepa* L.) werden blootgesteld aan elektromagnetische veldstralingen (EMF-r) gedurende verschillende blootstellingstijden (1 uur en 4 uur) en parameters zoals mitotische index (MI), fase index, chromosoomafwijkingen en DNA-schade werden geëvalueerd. DNA-schade werd onderzocht met behulp van de komeetttest waarbij verschillende parameters zoals % head DNA (HDNA), % tail DNA (TDNA), tail moment (TM) en olive tail moment (OTM) werden bepaald. De effecten van EMF-r blootstelling werden ook vergeleken met die van methylmethaansulfonaat (MMS; 90 μ M), dat fungeerde als positieve controle. De POST-blootstellingseffecten van EMF-r na het voorzien van de testplanten met een acclimatisatieperiode van 24 uur werden ook geëvalueerd. Vergeleken met de controle, werd een significante verhoging van de MI en het aberratiepercentage geregistreerd na 4 u blootstelling. Er werd echter geen specifieke trend van de fase-index als reactie op de blootstelling vastgesteld. Blootstelling aan EMF-r leidde tot DNA-beschadiging met een significante afname van HDNA en een toename van TDNA bij een blootstelling van 4 uur. TM en OTM veranderden echter niet significant bij blootstelling in vergelijking met die van de controlegroep. Analyse van de effecten van EMF-r POST-blootstelling toonde geen significante verandering/herstel aan. De gegevens wijzen dus op de potentiële cytotoxische en genotoxische aard van 2100 MHz EMF-r. Volgens de auteurs is deze studie van groot belang met het oog op de snel opkomende EMF-r in de omgeving en hun potentieel voor het opwekken van afwijkingen op chromosomaal niveau, waardoor een genotoxische gevaar ontstaat.

Algemene opmerkingen

In dit verslag werden negen onderzoeksartikels en twee overzichtsartikels opgenomen die recent werden gepubliceerd. Hoewel verschillende onderzoeksartikels rapporteren dat radiofrequentie elektromagnetische velden (RF-EMV) zijn geassocieerd met negatieve gezondheidseffecten, benadrukken de twee overzichtsartikels dat de impact van RF-EMV op de (menselijke) gezondheid minder éénduidig is. De eerste van deze reviews analyseert de beschikbare studies over het carcinogene en mutagene potentieel van velden in het radiofrequentiebereik (Saliev et al., 2019), terwijl het tweede zich richt op de mogelijke impact van RF-EMV op cognitieve stoornissen bij proefdieren (Sienkiewicz et al., 2019). Beide reviews concluderen dat er op dit moment nog onvoldoende bewijs is voor een negatief effect van RF-EMV op de gezondheid. De tegenstrijdige resultaten die beschikbaar zijn in de literatuur tonen aan dat om de mogelijke effecten van RF-velden te begrijpen het belangrijk is om de resultaten van alle goed uitgevoerde (en herhaalde) studies voor een bepaald eindpunt kritisch te evalueren in plaats van zich te focussen op de uitkomst van één enkele studie.

In het algemeen blijven de conclusies van Vijayalaxmi et al. (2018) en Verschaeve et al. (2017) over de parameters waarmee rekening moet worden gehouden bij de beoordeling van de kwaliteit van RF-EMV studies geldig (zie ook LNE rapport 2018(4)). Twee parameters die essentieel zijn om de kwaliteit van de resultaten van dit soort studies te verbeteren zijn (i) de noodzaak om zeer streng en kritisch te zijn met betrekking tot het gebruikte protocol, in het bijzonder het blootstellingsstelsel en de dosimetrie, en (ii) het belang van de statistische 'power' van de studie.

Om de mogelijke effecten van RF-EMV op het gedrag beter te begrijpen, dringen Sienkiewicz e.a. (2019) er bovendien bij de onderzoekers die zich met dit onderwerp bezighouden op aan om verder onderzoek uit te voeren op basis van gestandaardiseerde blootstellingsprotocollen en testen.

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequente straling die in het derde trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Birgit Mertens, Maryse Ledent & Thi Thu Ha Nguyen
Sciensano, Risk Assessment unit

Reviews

In vivo studies

Internationale Commissie voor bescherming tegen niet-ioniserende straling (ICNIRP). ICNIRP Opmerking: Kritische evaluatie van 2 dierstudies mbt de carcinogeniciteit van radiofrequentie-elektromagnetische velden, gepubliceerd in 2018. Health Phys. 2019 27 aug. doi: 10.1097/HP.0000000000001137. PubMed PMID: 31464775.

De eindresultaten van twee grote dierstudies naar de carcinogene effecten van langdurige blootstelling aan radiofrequentie (RF) elektromagnetische velden (EMV's) afkomstig van mobiele telefoons of antennes zijn nu beschikbaar. De studies werden uitgevoerd door het US National Toxicology Program (NTP) en het Ramazzini Instituut in Italië. In beide studies concludeerden de auteurs dat ze hadden aangetoond dat RF-EMV's kankerverwekkend zijn bij mannelijke ratten maar niet bij vrouwelijke ratten (beide studies) of muizen (alleen NTP). De internationale Commissie voor bescherming tegen niet-ioniserende straling (ICNIRP) heeft de methodologie en de resultaten van beide studies geëvalueerd ten einde na te gaan of ze nieuwe inzichten opleveren in de mogelijke carcinogeniciteit gerelateerd aan de blootstelling aan RF-EMV's. ICNIRP concludeerde dat beide studies belangrijke pluspunten vertonen. De studies werden onder meer uitgevoerd conform met de principes voor goede laboratoriumpraktijken (GLP). Ze gebruikten beide een veel groter aantal dieren in vergelijking met vorige onderzoeken en de dieren werden ook gedurende hun volledige levensduur blootgesteld. ICNIRP constateerde echter ook enkele belangrijke zwakke punten, waaronder een gebrek aan 'blinded' condities, moeilijkheden bij de interpretatie van statistische analyses als gevolg van de associatie tussen een langere levensduur en de verhoogde incidentie van tumoren bij de blootgestelde ratten (alleen NTP), en het niet in aanmerking nemen van het toeval. ICNIRP concludeerde dat deze belangrijke beperkingen het onmogelijk maken om conclusies te trekken met betrekking tot de link tussen RF-EMV's en carcinogeniciteit.

Opmerkingen bij de ICNIRP-nota

Zoals door ICNIRP wordt aangehaald, zijn beide studies waarschijnlijk de meest uitgebreide dierstudies over RF-straling die ooit werden uitgevoerd en over het algemeen is de kwaliteit van de studies hoog. Desalniettemin moeten de resultaten van deze studies nog steeds met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd en geëvalueerd. Een aantal aandachtspunten zijn volgens ICNIRP de volgende:

- *Temperatuur (beide studies): in geen van beide studies werd een thermische controle opgenomen. Bijgevolg blijft de vraag of de waargenomen effecten het gevolg zijn van thermische of niet-thermische mechanismen.*

- *Relevantie voor de volksgezondheid (alleen NTP): De RF-blootstelling van 6W/kg die in de NTP-studie wordt gebruikt is 3 keer hoger dan de lokale ICNIRP-blootstellingslimiet en 75 keer hoger dan de lichaamsblootstellingslimiet voor het grote publiek.*
- *Methodologie en interpretatie van de resultaten: zwakte of afwezigheid van een blinde procedure (beide studies), hogere overlevingskansen voor ratten in de blootgestelde groepen (NTP-studie) en statistische beperkingen (beide studies).*

Op basis van deze beperkingen concludeerde ICNIRP (2019) het volgende: "Hoewel NTP (2018a) en Falcioni et al. (2018) beiden een significante verhoging in de carcinogeniciteit-gerelateerde effecten bij mannelijke ratten rapporteerden, zijn hun resultaten niet consistent met elkaar, noch met de NTP-resultaten in de muis (2018b) of vrouwelijke ratten, noch met de algemene literatuur die beschikbaar is over de carcinogene effecten van RF-straling (SCENIHR 2015; HCN 2016; SSM 2018).

Door de beperkingen van beide studies blijft de relevantie voor de humane gezondheid van de ongunstige effecten van RF-straling die in de NTP en RI studies worden waargenomen onduidelijk. In deze context is het belangrijk om rekening te houden met het feit dat de informatie van deze studies niet uitsluitend kan worden gebruikt voor het trekken van conclusies over mogelijke schadelijke effecten van RF-straling op de gezondheid van de mens. In plaats daarvan moeten de studies worden gebruikt als onderdeel van een weight-of-evidence approach, waarbij ook alle andere beschikbare wetenschappelijke studies mbt RF-straling in aanmerking worden genomen. Hierbij moet in het bijzonder aandacht worden besteed aan het verschil tussen de experimentele condities en het werkelijk gebruik van de smartphone evenals het gedrag van mensen bij het gebruik van hun smartphone.

Meer uitgebreide besprekingen van de individuele studies zijn beschikbaar in onze vorige rapporten:

LNE RF 2018(3)EN voor

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D, Strollo V, Vornoli A, Belpoggi F. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. Environ Res 165:496–503; 2018.

en

2018_11_20 NTP Sciensano voor

National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to wholebody radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program; NTP TR-595; 2018a.

National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1900MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program; NTP TR-596; 2018b.

Aanvullende reviews

Vornoli A, Falcioni L, Mandrioli D, Bua L. De bijdrage van *In Vivo* studies in zoogdieren aan de kennis omtrent de negatieve effecten van radiofrequente straling op de menselijke gezondheid. International journal of environmental research and public health. 2019 Jan;16(18):3379.

De proliferatie van cellulaire antennes en andere apparaten die radiofrequente straling (RFR) genereren die in de laatste decennia heeft plaatsgevonden, resulteerde in een toenemende bezorgdheid over de potentiële gezondheidseffecten van RFR-blootstelling. Sinds de classificatie van RFR in 2011 als mogelijk carcinogeen door het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) zijn er bijkomende experimentele studies gepubliceerd die een causaal verband tussen blootstelling aan RFR en ongewenste effecten voor de gezondheid ondersteunen. Wat het risico op kanker betreft, zijn onlangs twee experimentele langetermijnstudies gepubliceerd door het Amerikaanse National Toxicology Program (NTP) en het Italiaanse Ramazzini Instituut (RI). Ondanks belangrijke experimentele verschillen, vonden beide studies een statistisch significante toename in de ontwikkeling van hetzelfde type van zeer zeldzame gliale kwaadaardige tumoren. Naast carcinogeniciteit, werd ook reproductieve toxiciteit in verband gebracht met RFR aangezien voortplantingsorganen in het bijzonder worden blootgesteld en mogelijk ook gevoelig zijn. In dit werk hebben de auteurs de huidige beschikbare gegevens van *in vivo* studies naar carcinogeniciteit en reproductieve toxiciteit geëvalueerd om de bijdrage van experimenteel onderzoek aan de preventie van de schadelijke effecten van RFR op de menselijke gezondheid samen te vatten.

Narayananan SN, Jetti R, Kesari KK, Kumar RS, Nayak SB, Bhat PG. Gedragsveranderingen geïnduceerd door radiofrequente elektromagnetische straling en hun mogelijk onderliggend mechanisme. Environ Sci Pollut Res Int. 2019 Aug 28. doi: 10.1007/s11356-019-06278-5. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 31463749..

De mobiele telefoontechnologie streeft naar communicatie met elke persoon, op elke plaats en tijd. In de moderne tijd is het onmogelijk om het nut van mobiele telefoontechnologie in noodgevallen te negeren, aangezien er via deze technologie al veel levens zijn gered. Volgens de auteurs van deze review werden de biologische effecten van deze technologie op mensen en andere dieren echter grotendeels genegeerd en niet uitvoerig geëvalueerd. Eén van de redenen hiervoor is volgens hen dat de snelle, oncontroleerbare groei van deze technologie de onderzoekscapaciteit heeft overtroffen. De mobiele telefonie, die ooit van start ging met de eerste generatie, bereikt momenteel haar vijfde generatie zonder dat ze uitgebreid gescreend werd op biologische effecten die ze kan hebben op mensen of andere dieren. Toenemend bewijs suggereert mogelijke niet-thermische biologische effecten van radiofrequentie elektromagnetische straling (RF-EMR) op de hersenen en het gedrag. Gedragsstudies hebben zich vooral geconcentreerd op de effecten van RF-EMR op leren, geheugen, angst en beweging. De literatuuranalyse op gedragseffecten van RF-EMR toont een complex beeld met tegenstrijdige waarnemingen. Toch zijn er tal van rapporten die een mogelijke gedragseffect van RF-EMR suggereren. De wetenschappelijke bevindingen over dit onderwerp worden door de auteurs voorgesteld in deze review. De mogelijke neurale en moleculaire mechanismen voor de gedragseffecten worden besproken in het licht van de bewijzen die volgens de auteurs aanwezig zijn in de literatuur.

Asl JF, Larijani B, Zakerkish M, Rahim F, Shirbandi K, Akbari R. Het mogelijke globale gevaar van straling uitgezonden door mobiele telefoons op schildkliercellen en hormonen: een systematische review van de evidentie. Environmental Science and Pollution Research. 2019 Jun 1:1-5.

Het doel van deze review was om de effecten van mogelijke schadelijke golven ten gevolge van het gebruik van een mobiele telefoon en van golven die zich in het gebied van deze van de mobiele telefoon bevinden (450 tot 3800 MHz) op de schildkliercellen en hormonen te evalueren. Acht elektronische datasets werden systematisch doorzocht om de relevante studies te identificeren die werden gepubliceerd in de periode tot december 2018. Hierbij werd gebruik gemaakt van een aantal MeSH-termen waaronder "cell phone", "mobile phone", "GSM", "radio frequency", "smartphone", "triiodothyronine", "thyroxin", "thyroid-stimulating hormone", "T3", "T4", "TSH" en "morphological" en alle mogelijke combinaties van deze termen. De auteurs doorzochten ook handmatig de referentielijsten van mogelijk geselecteerde studies om bijkomende relevante publicaties te identificeren. Aanvankelijk werden ongeveer 161 relevante studies gevonden. Na een screening van titels en samenvattingen werden 139 studies uitgesloten en uiteindelijk werden 22 studies (bestaande uit 7182 cases) opgenomen in de kwalitatieve synthese. Van de 22 studies die in de kwalitatieve synthese werden opgenomen, rapporteerde 11 studies veranderingen in de T3- en T4-niveaus (6 studies meldden een daling in de T3-niveaus en 1 ervan een stijging). Daarnaast vonden 5 studies een daling van de T4-niveaus daar waar 2 studies een stijging rapporteerden. In 10 andere studies werd een verandering in de TSH-niveaus waargenomen. Hiervan meldden twee studies een daling van het TSH-niveau en één een verhoging, terwijl in de resterende studies niet-significante veranderingen werden gerapporteerd. Tot slot waren er zeven studies waarbij histologische veranderingen in de schildklierfollikels werden onderzocht en waarbij werd aangetoond dat het volume van deze cellen was verminderd. De auteurs concluderen dat de vermindering in de diameter van de schildklierfollikels mogelijk te wijten is aan de straling van de mobiele telefoon. Blootstelling kan een negatieve invloed hebben op de opname van jodium in de schildklier of kan het temperatuureffect op de schildklier versterken. Bijkomend onderzoek is echter nodig om de effecten van microgolven op de gehalten aan TSH en het schildklierhormoon te bestuderen.

Kim JH, Lee JK, Kim HG, Kim KB, Kim HR. Mogelijke effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op het centrale zenuwstelsel. Biomolecules & therapeutics. 2019 May;27(3):265.

Technologische vooruitgang van de mensheid door de ontwikkeling van elektrische en communicatietechnologieën heeft geleid tot de blootstelling aan kunstmatige elektromagnetische velden (EMV). Er wordt verwacht dat de technologische groei zal doorgaan en bijgevolg zal de blootstelling aan EMV gestaag blijven toenemen. Met name de gebruikstijd van smartphones, die voor de moderne mens een noodzaak zijn geworden, neemt gestaag toe. De maatschappelijke bezorgdheid en interesse met betrekking tot de mogelijke effecten op het craniaal zenuwstelsel neemt toe rekening houdend met het feit dat de mobiele telefoon ter hoogte van het hoofd wordt gebruikt. Om de mogelijke effecten van radiofrequentie-elektromagnetisch velden (RF-EMF) op het menselijk lichaam te kunnen evalueren, moeten er een aantal aspecten mbt EMV's worden onderzocht aan de hand van *in vitro* of diermodellen. Wetenschappelijk onderzoek naar het mechanisme van de biologische effecten is ook vereist. Er werd reeds gerapporteerd dat RF-EMF kan leiden tot veranderingen in cellen van het centraal zenuwstelsel, waaronder neuronale celapoptose, veranderingen in de functie van de myeline van de zenuwen en ionenkanalen. Bovendien zou RF-

EMF fungeren als een bron van stress in levende wezens. De mogelijke biologische effecten van RF-EMF blootstelling zijn nog niet bewezen, en er zijn onvoldoende gegevens over de biologische gevaren om een duidelijk antwoord te geven over de mogelijke gezondheidsrisico's. Daarom is het noodzakelijk om de biologische effecten ten gevolge van RF-EMF te bestuderen rekening houdend met de blootstelling ten gevolge van het gebruik van verschillende apparaten door individuen. In deze review vatten de auteurs de mogelijke biologische effecten van blootstelling aan RF-EMF samen.

Neoplastische ziekten

In vivo studies

Fadiloglu E, Tapisiz OL, Unsal M, Fadiloglu S, Celik B, Mollamahmutoglu L. Niet-ioniserende straling gegenereerd door mobiele telefoon bevordert endometriumhyperplasie: een experimentele studie bij de rat. Arch Med Res. 2019 Feb;50(2):36-43. doi: 10.1016/j.arcmed.2019.05.010. Epub 2019 Jun 3.

Niet-ioniserende straling werd reeds in verband gebracht met verschillende ziektes. Het doel van de studie was om de associatie tussen niet-ioniserende straling en endometriumhyperplasie te evalueren. Vijftig geoferectomiseerde Wistar albino ratten werden behandeld met estradiol hemihydraat (4 mg/kg) om hyperplasie te induceren, en werden vervolgens blootgesteld aan 1800 MHz straling gegenereerd door een mobiele telefoon en een signaalgenerator die fungeert als basisstation. De studie werd uitgevoerd met 5 groepen in twee fasen. De studiegroepen bestonden uit (i) een controlegroep zonder enige blootstelling; (ii) een groep behandeld met oestrogeen in de eerste fase van de studie; (iii) een groep behandeld met oestrogeen in beide fasen; (iv) een groep behandeld met oestrogeen in de eerste fase en blootgesteld aan niet-ioniserende straling in de tweede fase en (v) een groep behandeld met oestrogeen in beide fasen en blootgesteld aan niet-ioniserende straling in de tweede fase. Na afloop van beide fasen werden uterusshoorns verwijderd en geëvalueerd op basis van glandulaire densiteit (GD), epitheliale celhoogte (ECH) en luminale epitheliale celhoogte (LECH).

Behandeling met oestrogeen verhoogde alle parameters tijdens beide fasen (LECH, GD en ECH waarden tijdens de eerste fase waren respectievelijk 12,2 vs. 16,5 ($p = 0,001$), 34 vs. 47 ($p < 0,001$), en 201 vs. 376,6 ($p = 0,001$); LECH, GD en ECH waarden tijdens de tweede fase waren respectievelijk 13,2 vs. 20,3 ($p < 0,001$), 35,5 vs. 65,5 ($p < 0,001$), 219,9 vs. 419,6 ($p < 0,001$)). Niet-ioniserende straling verhoogde alle waarden zowel zonder blootstelling aan oestrogeen (LECH, GD en ECH waarden waren 13,2 vs. 17,2 ($p = 0,074$), 35,5 vs. 59 ($p = 0,074$), en 219 vs. 318,3 ($p < 0,001$), respectievelijk) als met blootstelling aan oestrogeen (LECH, GD en ECH, waarden waren 20,3 vs. 22,8 ($p = 0,168$), 65,5 vs. 77 ($p = 0,058$), en 419,6 vs. 541,6 ($p = 0,004$), respectievelijk).

De auteurs concludeerden op basis van deze resultaten dat niet-ioniserende straling endometriumhyperplasie bevordert in een experimenteel ratmodel met/zonder blootstelling aan oestrogeen.

In vitro studies

Panagopoulos DJ. Chromosoomschade in menselijke cellen veroorzaakt door UMTS-straling van mobiele telefonie. Gen Physiol Biophys. 2019 Sep;38(5):445-454. doi: 10.4149/gpb_2019032. Epub 2019 Aug 14.

Omgevingsblootstelling aan moderne microgolftelecommunicatie elektromagnetische velden (EMV's) is toegenomen tot ongekeerde niveaus met de daaruit voortvloeiende gezondheidsklachten en zorgen. Verschillende studies hebben reeds genotoxische effecten gerapporteerd in diverse organismen en cel- en weefseltypes. Humane perifere bloedlymfocyten van zes gezonde donoren werden gestimuleerd voor mitose en blootgesteld aan microgolf-EMF van "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)" of de derde generatie (3G) mobiele telefonie (MT) EMV-straling uitgezonden door een in de handel verkrijgbare mobiele telefoon. Lymfocyten die tijdens de G2-fase van de celdelingscyclus werden blootgesteld vertoonden bij scoring in de metafase significant hogere percentages aan chromatide-type afwijkingen (gaps en breuken) (tot 275%) in vergelijking met de controlecellen (sham-blootgestelde). Elk individu vertoonde een verschillende gevoeligheid voor de microgolfblootstelling. Bovendien verschilden de percentages aan afwijkingen in de controlecellen door genetische en omgevingsfactoren. De blootstelling aan MT-EMV induceerde voornamelijk achromatische laesies (gaps), en in beperktere mate ook terminale deleties (breuken). Op basis van deze resultaten concluderen de onderzoekers dat microgolf 3G MT-EMV/straling - binnen de huidige blootstellingsgrenzen - een significante genotoxische werking heeft op menselijke cellen en dat de blootstelling van de mens aan deze EMV-straling zo laag mogelijk moet worden gehouden.

Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen

In vivo studies

Kim JH, Huh YH, Kim HR. 'Trafficking' in synaptische vesikels in de hypothalamus wordt beïnvloed door blootstelling aan een 835 MHz radiofrequentie elektromagnetische veld. General physiology and biophysics. 2019 Aug.

Het snel toenemend gebruik van mobiele telefoons en het feit dat ze nauw in contact worden gebracht met de hersenen, heeft geleid tot een toenemende bezorgdheid over de mogelijke neuronale effecten veroorzaakt door blootstelling aan overmatige elektromagnetische straling. Blootstelling aan een radiofrequente elektromagnetische veld (RF-EMV) van 835 MHz (4,0 W/kg specifieke absorptieratio (SAR) 5 uur/dag gedurende 12 weken) kan een invloed hebben op de presynaptische neuronen in de hypothalamus van C57BL/6 muizen. Het aantal en de grootte van de synaptische vesikels (SV's) in de hypothalamus presynaptische zenuwuiteinden waren aanzienlijk verminderd na RF-EMV blootstelling. Verder was de dichtheid (aantal SV's/ μm) van docking en fusing SV's in de actieve zones van het presynaptische terminaal membraan aanzienlijk verminderd in de neuronen van de hypothalamus. De expressieniveaus van synapsine I/II en van synaptotagmin 1, twee regulatoren van SV trafficking in neuronen, waren ook significant afgenomen in de hypothalamus. Parallel hieraan was ook de expressie van calciumkanalen aanzienlijk verminderd. De veranderingen in SV's in de actieve zones kunnen leiden tot een directe vermindering in de vrijstelling van neurotransmitters in de presynaptische terminals van de hypothalamus. Daarom hebben de auteurs ook mogelijke veranderingen in de hypothalamusfunctie bestudeerd door het testen van de lichaamstemperatuur en het lichaamsgewicht en het uitvoeren van de "buried pellet

test". Hoewel het 'trafficking' in de SV's werd beïnvloed door RF-EMF, werden er geen significante fenotypische veranderingen gevonden onder deze experimentele condities.

In vitro studies

/

Reproductieve en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

Yu G, Tang Z, Chen H, Chen Z, Wang L, Cao H, Wang G, Xing J, Sheng H, Cheng Q, Li D. Langdurige blootstelling aan 4G smartphone-radiofrequente elektromagnetische straling vermindert het mannelijke voortplantingspotentieel door het direct verstoren van de Spock3-MMP2-BTB-as in de testikels van volwassen ratten. *Science of The Total Environment*. 2019 Aug 31:133860.

De correlatie tussen langdurige blootstelling aan SRF-EMV en de daling van de mannelijke vruchtbaarheid krijgt geleidelijk aan meer aandacht van de medische wereld. Terwijl mannelijke voortplantingsorganen vaak worden blootgesteld aan SRF-EMV, is er momenteel weinig bekend over de directe effecten van langdurige blootstelling aan SRF-EMV op de teelballen en de mogelijke rol bij de vermindering van het mannelijk voortplantingsvermogen. De huidige studie werd ontworpen om dit onderwerp verder te onderzoeken met behulp van 4G SRF-EMV bij ratten. Een uniek blootstellingsmodel op basis van een 4G smartphone werd gebruikt om het scrotum van ratten gedurende 6 uur per dag lokaal bloot te stellen (de smartphone werd in actieve praatmodus gehouden en ontving een externe oproep van 1 min over intervallen van 10 min). De resultaten van deze studie toonden aan dat SRF-EMV blootstelling gedurende 150 dagen aanleiding gaf tot een verminderde spermakwaliteit en pupgewicht, met bijhorende testiculaire letsels. Deze ongewenste effecten waren echter niet duidelijk aanwezig bij ratten blootgesteld aan SRF-EMV gedurende 50 dagen of 100 dagen. Sequencing analyse en western blotting suggereerde Spock3 overexpressie in de testikels van ratten blootgesteld aan SRF-EMV gedurende 150 dagen. Inhibitie van Spock3 overexpressie verbeterde de daling in spermakwaliteit en verminderde de testiculaire schade en BTB stoornis in de blootgestelde ratten. Bovendien onderdrukte SRF-EMV blootstelling MMP2 activiteit, terwijl de activiteit van de MMP14-Spock3 complexen werd verhoogd en die van MMP14-MMP2 complexen werd verminderd. De resultaten werden omgekeerd door Spock3 inhibitie. Op basis van deze resultaten concluderen de auteurs dat langdurige blootstelling aan 4G SRF-EMV de mannelijke vruchtbaarheid vermindert door het direct verstoren van de Spock3-MMP2-BTB as in de testikels van volwassen ratten.

Broom KA, Findlay R, Addison DS, Goiceanu C, Sienkiewicz Z. Blootstelling aan gepulseerde LTE-radiofrequentievelden tijdens de vroege levensfase veroorzaakt blijvende veranderingen in de activiteit en het gedrag bij C57BL/6 J-muizen. *Bioelectromagnetics*. 2019 Sep 15.

Ondanks veel onderzoek blijven er hiaten in de kennis over de potentiële gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) velden. Deze studie onderzocht de effecten van blootstelling aan 'pulsed long term evolution (LTE) 1.846 MHz downlink' signalen tijdens de vroege levensfase op het aangeboren gedrag van de muis. Dieren werden 5 dagen per week gedurende 30 min per dag blootgesteld met een 'whole-body average specific absorption rate (SAR)' van 0,5 of 1 W/kg in een

periode die startte aan het einde van de zwangerschap (dag 13,5 van de dracht) en duurde tot het spenen (postnatale dag 21). Een systeem voor het opvolgen van gedrag registreerde de bewegingen, het drinken en het voedingsgedrag van de dieren van 12 tot 28 weken oud in hun kooi. De blootstelling veroorzaakte significante effecten op zowel het eetgedrag als de activiteit van de nakomelingen die afhankelijk waren van het SAR. In vergelijking met sham-blootgestelde controles veroorzaakte blootstelling aan 0,5 W/kg een significante daling in de drinkfrequentie ($P \leq 0.000$) en een significant daling in de afstand die werd afgelegd ($P \leq 0.001$). Daarentegen verhoogde de blootstelling aan 1 W/kg de drinkfrequentie ($P \leq 0,001$) significant evenals de bewegingsduur ($P \leq 0,005$). Aangezien er geen andere plausibele verklaringen waren, werd door de auteurs geconcludeerd dat herhaalde blootstelling aan lage RF-velden op jonge leeftijd een blijvend en langdurig effect kan hebben op het gedrag van volwassenen.

Sharma A, Sharma S, Shrivastava S, Singhal PK, Shukla S. Cognitieve en neurochemische effecten geïnduceerd door mobiele telefoon. J Chem Neuroanat. 2019 Sep 22;102:101684. doi: 10.1016/j.jchemneu.2019.101684. [Epub ahead of print].

In parallel met de snelle technologische vooruitgang is het gebruik van mobiele telefoons enorm toegenomen en bijgevolg ook het risico op mobiele telefoon-gerelateerde gezondheidsproblemen. Deze studie werd uitgevoerd om het effect van de mobiele telefoonfrequentie op mannelijke Wistar ratten te bestuderen. De dieren werden verdeeld in twee groepen ($n = 6$ in elke groep). Groep één werd beschouwd als de controlegroep en groep twee (de experimentele groep) werd gedurende een periode van 3 maanden elke dag 4 uur (5 dagen/week) blootgesteld aan microgolfstraling (2100 MHz). Blootstelling van microgolfstralingsfrequentie resulteerde in significante veranderingen in cholinesterase activiteit, spierkracht, leervermogen en angst. MWR blootstelling was ook geassocieerd met een significante verandering in het oxidatieve afweersysteem en degeneratie van de hippocampus. Histopathologische observaties toonden de neurale degeneratie duidelijk aan. Op basis van deze resultaten concluderen de auteurs dat MWR een significant effect heeft op het centraal zenuwstelsel en dat het kan leiden tot vele ernstige ziekten. Deze studie kan volgens de auteurs een platform vormen om het toxische effect van MWR beter te begrijpen en kan verder worden gebruikt voor wijziging van de huidige richtlijnen voor mobiele straling.

In vitro studies

/

Andere effecten

In vivo studies

/

In vitro studies

Del Re B, Bersani F, Giorgi G. Effect van blootstelling aan elektromagnetische velden op de transcriptie van repetitieve DNA-elementen in menselijke cellen. Electromagnetic biology and medicine. 2019 Sep 23:1-9.

Lange tijd werd aangenomen dat repetitief DNA (RE-DNA) stil en inert is, maar recent onderzoek heeft aangetoond dat het kan worden overgeschreven en dat wijzigingen in de transcriptie kunnen worden geïnduceerd door omgevingsstressomstandigheden met humane pathologische effecten tot gevolg. Het doel van deze studie was om te bepalen of blootstelling aan radiofrequentie elektromagnetische velden (RF-EMV) de transcriptie van RE-DNA kan beïnvloeden. Daartoe werden drie verschillende menselijke cellijnen (HeLa, BE (2) C en SH-SY5Y) blootgesteld aan 900 MHz GSM-gemoduleerde RF-EMV met een specifieke absorptieratio van 1 W/kg of aan sham. Na blootstelling werden mRNA niveaus van RE-DNA geëvalueerd door middel van kwantitatieve real-time PCR. De volgende RE-DNA types werden onderzocht: Long Interspersed nucleotide Element 1, DNA alpha satellite en Humane Endogenous Retroviruses-like sequenties. Bij het vergelijken van cellen blootgesteld aan RF-EMV versus controlecellen, werden verschillende resultaten gevonden voor de drie geëvalueerde cellijnen, wat er volgens de auteurs op wijst dat RF-EMV blootstelling de RE-DNA transcriptie aanzienlijk kan beïnvloeden en dat de effecten sterk afhankelijk zijn van de cellulaire context en het weefseltype. Verdere studies zijn nodig om te verduidelijken welke moleculaire mechanismen hierbij betrokken zijn.

Algemene opmerkingen

Momenteel zijn er geen overtuigende bijkomende aanwijzingen voor ongewenste effecten van RFR-straling op de humane gezondheid.

Echter, de literatuur over de mogelijke schadelijke gevolgen van RFR voor de gezondheid van de mens neemt sterk toe. Ook in de afgelopen drie maanden werden veel RFR-gerelateerde *in vitro* en/ of *in vivo* studies gepubliceerd. Sommige van de studies rapporteren RFR-geïnduceerde schadelijke effecten op de menselijke gezondheid die door anderen worden tegengesproken, terwijl anderen mogelijke onderliggende werkingsmechanismen voor deze effecten voorstellen. In het algemeen is het zeer moeilijk, zo niet onmogelijk, om op basis van de afzonderlijke studies tot een conclusie te komen, vooral omdat de meeste onder hen methodologische beperkingen hebben (bv. te kleine aantallen dieren, gebrek aan blinde aandoeningen, ...). De conclusies over de mogelijke schadelijke gevolgen van RFR voor de gezondheid van de mens moeten daarom worden geëvalueerd op basis van een 'weight-of-evidence' benadering, waarbij alle beschikbare studies met betrekking tot een bepaald eindpunt in aanmerking worden genomen.

In dit verband is het belangrijk op te merken dat het Franse "Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail" (ANSES) zopas zijn collectief expertiserapport heeft gepubliceerd over de mogelijke impact van mobiele telefoons die dicht bij het lichaam worden gedragen op de humane gezondheid. Het doel van dit rapport is om te evalueren of specifieke absorptieratio's (SAR) van meer dan 2 W/kg mogelijk gezondheidseffecten hebben bij volwassenen en kinderen. De evaluatie is gebaseerd op de publicaties die Anses in zijn laatste rapporten over de risico's in verband met RF-emissies van mobiele telefoons heeft geïdentificeerd en geanalyseerd (Anses, 2009; Anses, 2013 en Anses, 2016), en is aangevuld met een overzicht van de recentere literatuur over dit onderwerp (tot begin november 2018). Dit verslag bevat een update van de studies over dit onderwerp. Het is beschikbaar op het volgende adres:

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2017SA0229Ra.pdf>. In onze volgend verslag zal dit rapport meer in detail worden besproken.

Bovendien heeft het stralingsprogramma van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) een lopend project om de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan RF-EMV in het algemeen en in de werkende bevolking te beoordelen. Om een prioriteit toe te kennen aan mogelijke negatieve gezondheidseffecten, heeft de WHO in 2018 een breed internationaal onderzoek uitgevoerd. Tien belangrijke thema's werden geïdentificeerd, zoals het effect van blootstelling aan RF op kanker (dierstudies), het effect van blootstelling aan RF op reproductie-gerelateerde eindpunten (dier- en in vitro studies), het effect van blootstelling aan RF op biomerkers van oxidatieve stress, De WHO zal nu de opdracht geven tot systematische reviews om de beschikbare gegevens te analyseren en te synthetiseren. Dit uitgebreid systematisch literatuuronderzoek zal belangrijk zijn om een beter zicht te krijgen op de gezondheidseffecten van RF-EMV.

LNE RF 2019-4 NI

Overzicht van de epidemiologische en klinische studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het vierde trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Dr. Maurits De Ridder

Vakgroep volksgezondheid en eerstelijnszorg

Universiteit Gent

Reviews en meta-analyses

Methodologische beperkingen in experimentele onderzoeken naar symptoomontwikkeling bij personen met idiopathische omgevingsintolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden (IEI-EMF) - een systematische review.

Schmiedchen K, Driessen S, Oftedal G.

Environ Health. 2019 Oct 22;18(1):88.

Overgevoeligheid voor elektromagnetische velden (EMV) is een controversiële aandoening. Hoewel personen met idiopathische milieu-intolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden (IEI-EMF) claimen gezondheidsklachten te ervaren bij blootstelling aan EMF, hebben veel experimentele onderzoeken geen overtuigend bewijs gevonden voor een fysieke relatie. Het doel van deze systematische review was om methodologische beperkingen te evalueren in experimentele studies naar symptoomontwikkeling bij IEI-EMF-individen die mogelijk fout-positieve of fout-negatieve resultaten hebben veroorzaakt. Bovendien worden de profielen van deze beperkingen tussen studies met positieve en negatieve resultaten vergeleken. De Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) hebben het methodologisch onderzoek en de rapportage geleid. In aanmerking kwamen blinde experimentele onderzoeken die personen met IEI-EMF blootstelden aan verschillende EMF-blootstellingsniveaus en de ontwikkeling van symptomen tijdens of na elke blootstellingsproef nagingen. Sterke punten en beperkingen in ontwerp, uitvoering en analyse van individuele studies werden beoordeeld met behulp van een op maat gemaakte beoordelingstool.

Achtentwintig studies voldeden aan de inclusiecriteria en werden opgenomen in deze review. In veel studies, zowel met positieve als negatieve resultaten, werden methodologische beperkingen geïdentificeerd die ofwel valse ofwel gemaskeerde echte effecten van blootstelling hadden kunnen doen ontstaan. De meest voorkomende beperkingen hielden verband met de selectie van deelnemers aan de studie, het tegenwicht van de blootstellingsvolgorde en de effectiviteit van blinding. Veel studies misten verder statistische schattingen. Methodisch goede studies wezen uit dat een effect van blootstelling onwaarschijnlijk is.

Conclusies: Over het geheel genomen wijst het onderzoek niet op een effect van blootstelling. Als er fysieke effecten bestaan, suggereren eerdere bevindingen dat deze zeer zwak moeten zijn of slechts enkele personen met IEI-EMF moeten treffen. Gezien het bewijs dat het nocebo-effect of medische / psychische stoornissen de symptomen bij veel personen met IEI-EMF kunnen verklaren, is aanvullend onderzoek nodig om de verschillende factoren te identificeren die belangrijk kunnen zijn voor het ontwikkelen van IEI-EMF en voor het uitlokken van de symptomen. De auteurs bevelen aan om subgroepen te identificeren en IEI-EMF te onderzoeken in de context van andere idiopathische milieu-intoleranties. Als verdere experimentele onderzoeken worden uitgevoerd, moeten deze bij voorkeur op individueel niveau worden uitgevoerd. Om de kans op het detecteren van overgevoelige

personen, indien aanwezig, te vergroten, bevelen de onderzoekers aan om bronnen van risico van vooringenomenheid en onnauwkeurigheid te minimaliseren teneinde een hoge geloofwaardigheid van de resultaten te bereiken.

[Beroepsmatige blootstelling aan radarstraling en het risico van kanker: een systematische review en meta-analyse.](#)

Safari Variani A, Saboori S, Shahsavari S, Yari S, Zaroushani V.

Asian Pac J Cancer Prev. 2019 Nov 1;20(11):3211-3219.

Microgolfstraling is een groeiende omgevingsfactor op de werkplek waaraan veel werknemers op verschillende werkplekken blootgesteld zijn. In het kader van de bezorgdheid over de incidentie van kanker bij deze werknemers en het gebrek aan systematische of meta-analytische studies over dit onderwerp, hebben de auteurs een meta-analyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in het verband tussen het risico op kanker en beroepsmatige blootstelling aan radarstraling. Er is systematisch gezocht naar case-control-, cohort- en klinische controlestudies in de Cochrane Library, PubMed, ISI Web of Science, Scopus en Google scholar-databases, zonder tijdslimiet op publicatiedatum, in de periode van maart 2017 tot maart 2018 en bijgewerkt op 30 september 2018. Sleutelwoorden werden geselecteerd op basis van het PICO-principe en verzameld uit de MeSH-database. Na verwijdering van geduplicateerd onderzoek, rekening houdend met opname- en uitsluitingscriteria, werd het screeningproces uitgevoerd en werden gegevens geëxtraheerd uit de volledige tekst van de opgenomen artikelen. Het verzamelen van artikelen werd voltooid door handmatig te zoeken naar een referentielijst van in aanmerking komende studies. Voor de kwaliteitsbeoordeling van de opgenomen studies werd de schaal van Newcastle-Ottawa gebruikt. Een totaal van 533 studies werd gevonden in de eerste stap van literatuuronderzoek, slechts 6 werden opgenomen volgens in- en uitsluitingscriteria. Geschatte gepoolde analyse van de grootte van random effects toonde geen significant toenemend effect van beroepsmatige blootstelling aan radarstraling op sterftcijfer (MR = 0,81, 95% BI: 0,78, 0,83) en relatief risico (RR = 0,87, 95% BI: 0,75, 0,99, P <0.0001) van kanker, met een significante heterogeniteit tussen de geselecteerde studies.

Conclusies: De resultaten van dit meta-analyseonderzoek hebben geen significante toename van de totale mortaliteitsratio en risicoratio van kanker door beroepsmatige blootstelling aan de radarfrequentie van werknemers aangetoond. Wegens de beperkingen van deze meta-analyse, zoals laag aantal opgenomen studies, gebrek aan gegevens over blootstellingskarakteristieken en demografische karakterisering, is dit resultaat niet zeker en overtuigend.

[Gebruik van mobiele telefoons](#)

[De mogelijkheid voor impact van door de mens veroorzaakte elektromagnetische velden op de slaap.](#)
Ohayon MM, Stolc V, Freund FT, Milesi C, Sullivan SS.

Sleep Med Rev. 2019 Oct; 47: 28-38.

Een steeds groeiend aantal elektromagnetische (EM) emissiebronnen roept gezondheidsrisico's op, met name als gevolg van de alomtegenwoordige lage tot extreem lage frequentievelden van hoogspanningslijnen en apparaten, en de radiofrequente velden die worden uitgezonden door telecommunicatieapparatuur. In dit artikel bespreken de auteurs de stand van zaken van de kennis over de mogelijke effecten van elektromagnetische velden op de secretie van melatonine en op de slaapstructuur en het elektro-encefalogram van mensen. De meeste onderzoeken naar de effecten van de aanwezigheid van EM-velden op melatonine bij de mens zijn uitgevoerd met de focus op de effecten van beroepsmatige of residentiële blootstellingen. Hoewel sommige van de eerdere onderzoeken aangaven dat EM-velden een onderdrukkend effect op melatonine kunnen hebben,

kunnen de resultaten niet worden gegeneraliseerd vanwege de grote variabiliteit in blootstellingsomstandigheden en de aanwezigheid van andere factoren die melatonine kunnen beïnvloeden. Blootstelling aan radiofrequente EM-velden op slaaparchitectuur heeft weinig of geen effect. Uit een aantal onderzoeken blijkt echter dat pulserende radiofrequente elektromagnetische velden, zoals die van mobiele telefoons, de hersenfysiologie kunnen veranderen, waardoor het elektro-encefalogramvermogen in selectieve banden toeneemt bij blootstelling direct voorafgaand aan of tijdens de slaap.

Conclusies: Aanvullend onderzoek is nodig. Nieuwe studies moeten oudere populaties bevatten en de interacties van EM-velden in verschillende frequentiebereiken evalueren om hun effecten op de slaap bij mensen duidelijk te maken.

Residentiële blootstelling

Geen

Menselijk experimenteel onderzoek

Geen

Algemene conclusies voor dit trimester

Slechts enkele studies werden dit trimester gepubliceerd.

Een systematische review van idiopathische milieu-intolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden (IEI-EMF) concludeert dat het onwaarschijnlijk is dat het effect verband houdt met blootstelling aan elektromagnetische velden.

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequente straling die in het vierde trimester van 2019 werden gepubliceerd.

Maryse Ledent, Birgit Mertens, Eva De Clercq & Thi Thu Ha Nguyen
Sciensano, Risk Assessment unit

Reviews

Anses. 2019. Effets sanitaires éventuels liés aux valeurs élevées de débit d'absorption spécifique de téléphones mobiles portés près du corps. Rapport d'expertise collective. [Mogelijke gezondheidseffecten gerelateerd aan de hoge stralingswaarden (SAR) van mobiele telefoons die dicht bij het lichaam worden gedragen. Collectief expertiseverslag] AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2017SA0229Ra.pdf>

Er werden richtlijnen van 2 W/kg vastgelegd om thermische effecten van blootstelling aan radiofrequenties (RF) te vermijden (ICNIRP, 1998, 2018). Voor RF-blootstellingen onder de limieten is dit verhittingsverschijnsel beperkt vanwege de thermoregulerende eigenschappen van het lichaam. Anses evalueerde of stralingswaarden (SAR) van meer dan 2 W/kg, zoals die werden gevonden door het Franse Nationale Agentschap voor frequenties (ANFR) bij metingen die tussen 2012 en 2016 werden uitgevoerd op radioapparatuur die in contact staat met het lichaam, gezondheidseffecten kunnen veroorzaken. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen populaties van volwassenen en kinderen.

Deskundigen hebben 94 publicaties (cel- en dierstudies) waarin sprake was van SAR's van meer dan 2 W/kg geïdentificeerd en geanalyseerd. Sommige van deze studies testten verschillende niveaus van SAR's, variërend van "lage" SAR's (< 2 W/kg) tot hogere SAR's, waardoor een mogelijke dosis-responsrelatie kon worden onderzocht. De betrokken deskundigen benadrukten dat de thermische reactie op RF-blootstelling niet dezelfde is bij mensen en ratten. Met name het niveau van de temperatuurstijging (lagere piektemperatuur bij de mens voor een vergelijkbare blootstelling) en het verloop ervan in functie van de tijd zijn verschillend, vooral in diepe weefsels zoals de hersenen (Kodera en Hirata 2018). Bovendien beschikken cellen in *in vitro* experimenten niet over de thermoregulerende capaciteiten van het volledige organisme. In studies die worden uitgevoerd in cellen moet daarom steeds een temperatuur regulerend apparaat worden gebruikt in combinatie met het blootstellingsapparaat, vooral in de conditie met de hoogste RF-blootstelling.

De studie identificeerde, met beperkt bewijs: (1) effecten op synaptische activiteit of hersenplasticiteit en op de elektrische activiteit van de hersenen (EEG-sigtaalmodulatie) bij volwassen dieren; (2) verbeterde cognitieve prestaties in transgene diermodellen van de ziekte van Alzheimer; (3) effecten op de inductie van autofagische processen in de hersenen van jonge dieren.

Experten raden aan:

- Om SAR ter hoogte van de romp te meten met het apparaat in contact met het lichaam op een afstand van 0 mm, omdat op die manier een maximaal maar realistisch blootstellingsituatie wordt gegenereerd;
- Om blootstelling van gebruikers van mobiele telefoons aan apparaten waarvan de SAR die gemeten werd in de buurt van het lichaam (SAR van de romp, gemeten bij een contact van 0 mm) hoger ligt dan 2 W/kg te vermijden, op basis van het voorzorgsprincipe.
- Om deze aanbevelingen uit te breiden naar alle apparaten die RF-straling uitzenden (tablets, speelgoed, enz.), en die in contact met het lichaam kunnen worden gebruikt.

Aanvullende reviews

Simkó M, Mattsson MO. 5G Wireless Communication and Health Effects - A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. [Draadloze communicatie via 5G en gezondheidseffecten - Een Pragmatisch overzicht op basis van beschikbare studies gaande van 6 tot 100 GHz]. Int J Environ Res Public Health. 2019 Sep 13;16(18).

Het invoeren van de vijfde generatie (5G) draadloze communicatie zal het aantal hoogfrequente basisstations en andere apparaten doen toenemen. De vraag is of dergelijke hogere frequenties (in dit overzicht 6-100 GHz, millimetergolven, MMW) een gezondheidseffect kunnen veroorzaken. In deze review werden 94 relevante publicaties geanalyseerd waarbij *in vivo* of *in vitro* onderzoek werd uitgevoerd. Elke studie werd gekarakteriseerd op basis van: soort onderzoek (*in vivo*, *in vitro*), biologisch materiaal (soort, celtype, enz.), biologisch eindpunt, blootstelling (frequentie, blootstellingsduur, vermogensdichtheid), resultaten, en vooropgestelde kwaliteitscriteria. Er was geen consistent verband tussen vermogensdichtheid, blootstellingsduur of -frequentie en blootstellingseffecten. De beschikbare studies verschaffen onvoldoende adequate informatie om enerzijds een zinvolle veiligheidsbeoordeling in het 6-100 GHz-frequentiegebied wanneer de vermogensdichtheden de blootstellingsrichtlijnen niet overschrijden te kunnen uitvoeren, en anderzijds om het probleem van niet-thermische effecten in kaart te brengen. Er is behoefte aan onderzoek naar lokale warmteontwikkeling op kleine oppervlakken, bijvoorbeeld de huid of het oog, en naar eventuele milieueffecten. Wat de kwaliteit van de gepresenteerde studies betreft, voldoen te weinig studies aan de minimale kwaliteitscriteria om verdere conclusies te kunnen trekken. ***Opdat toekomstige studies nuttig zouden zijn voor de veiligheidsbeoordeling, moeten het experimenteel ontwerp en de uitvoering ervan aanzienlijk worden verbeterd.***

Vornoli A, Falcioni L, Mandrioli D, Bua L, Belpoggi F. The Contribution of *In Vivo* Mammalian Studies to the Knowledge of Adverse Effects of Radiofrequency Radiation on Human Health [De bijdrage van *In Vivo* Zoogdierstudies aan de kennis van de nadelige effecten van radiofrequente straling op de menselijke gezondheid]. Int J Environ Res Public Health. 2019 Sep 12;16(18).

De proliferatie van cellulaire antennes en andere apparaten die radiofrequente straling (RFR) genereren, heeft de laatste decennia geleid tot meer en meer bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan RFR. Sinds de indeling als mogelijk kankerverwekkend in 2011 door het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) werden er bijkomende

experimentele studies gepubliceerd die een causaal verband tussen blootstelling aan RFR en gezondheidsrisico's ondersteunen. Wat het kankerrisico betreft, werden onlangs twee experimentele langetermijnstudies gepubliceerd door het Amerikaanse National Toxicology Program (NTP) en het Italiaanse Ramazzini Instituut (RI). Ondanks belangrijke experimentele verschillen, vonden beide studies statistisch significante stijgingen in de ontwikkeling van hetzelfde type van zeer zeldzame kwaadaardige gliale tumoren. Naast de carcinogene effecten, kunnen de voortplantingsorganen in het bijzonder in hogere mate worden blootgesteld en zijn deze mogelijk ook gevoeliger voor RFR. In deze studie hebben de auteurs de momenteel beschikbare gegevens uit *in vivo* studies over carcinogeniteit en voortplantingstoxiciteit onderzocht om op die manier de bijdrage van experimenteel onderzoek aan de preventie van de schadelijke effecten van RFR op de menselijke gezondheid samen te vatten.

Andere studie

Vijayalaxmi, Prihoda TJ. Funding Source, Quality of Publications and Outcome in Genetic Damage in Mammalian Cells Exposed to Non-Ionizing Radiofrequency Fields [Financieringsbron, kwaliteit van publicaties en uitkomst met betrekking tot genetische schade bij zoogdiercellen die worden blootgesteld aan niet-ioniserende radiofrequente velden]. Radiation research. 2019 Oct;192(4):353-62.

Er is veel discussie over de vraag of de financieringsbron al dan niet een invloed heeft gehad op de resultaten van het onderzoek naar de effecten van blootstelling aan radiofrequente velden op de gezondheid van de mens (RF, elektromagnetische golven die energie dragen zoals die zich in de lucht voortplanten en dichte media). In een studie op basis van 225 publicaties, probeerden de auteurs een mogelijk verband te leggen tussen de financieringsbron(nen), de kwaliteit en de uitkomst van in totaal 2.160 testen voor het evalueren van de genetische schade bij zoogdiercellen die werden blootgesteld aan RF-energie. Eén van de bevindingen was dat een meerderheid van de onderzoekers 'overheidsinstellingen' als financieringsbron hadden aangeduid (53%, 120 van de 225 publicaties), terwijl een klein aantal wetenschappers de mobiele telefoonindustrie als financieringsbron noemde (9%, 20 van de 225 publicaties). Veel onderzoekers noemden de financieringsbron niet (26%, 58 van 225 publicaties). Ten tweede waren de door de industrie gefinancierde onderzoeken van betere kwaliteit en maakten zij gebruik van maatregelen voor kwaliteitscontrole, d.w.z. een blinde evaluatie, een adequate beschrijving van de dosimetrie, positieve controles en/of schijnblootgestelde (sham) controles, in vergelijking met de studies die door de overheid werden gefinancierd. Een andere vaststelling was dat in door de industrie gefinancierde onderzoeken de d-waarden (effectomvang of gestandaardiseerd gemiddeld verschil tussen de aan RF-energie blootgestelde cellen en aan schijnblootgestelde controles) consistent lager waren dan in de door de overheid gefinancierde onderzoeken. In vergelijking met de door de overheid gefinancierde studies, meldde een hoger percentage van de door de industrie gefinancierde studies bovendien geen verschil in genetische schade tussen RF- en schijnblootgestelde cellen (80% voor door de industrie gefinancierde studies versus 49% voor door de overheid gefinancierde studies). Tot slot merkten de auteurs op dat de door de industrie gefinancierde studies minder snel een toename van de genetische schade in aan RF-energie blootgestelde cellen (10%) rapporteren in vergelijking met de door de overheid gefinancierde studies (23%). Gezien het grote verschil tussen het aantal door de overheid en de industrie gefinancierde publicaties (53% of 122 van de 225 publicaties voor de overheid, vergeleken met 9% of 29 van de 225 publicaties voor de industrie), is voorzichtigheid geboden bij het trekken van conclusies uit bovenstaande observaties. Over het geheel genomen is het van groot belang om de

kwaliteitscontrolemaatregelen in de onderzoeken op te nemen en de financieringsbron in de gepubliceerde studies te vermelden.

Neoplastische ziekten

In vivo studies

/

In vitro studies

Durdik M, Kosik P, Markova E, Somsedikova A, Gajdosechova B, Nikitina E, Horvathova E, Kozics K, Davis D, Belyaev I. Microwaves from mobile phone induce reactive oxygen species but not DNA damage, preleukemic fusion genes and apoptosis in hematopoietic stem/progenitor cells [Microgolven van mobiele telefoons induceren reactieve zuurstofverbindingen, maar geen DNA-schade, preleukemische fusiegenen en apoptose in hematopoëtische stam/progenitorcellen]. Sci Rep. 2019 Nov 7;9(1):16182.

Blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV) werd in verband gebracht met een verhoogd risico op kinderleukemie, die ontstaat uit mutaties die worden geïnduceerd binnen hematopoëtische stamcellen vaak via preleukemische fusiegenen (PFG). In deze studie hebben de auteurs onderzocht of blootstelling aan microgolven (MW) uitgezonden door mobiele telefoons verschillende biochemische merkers van cellulaire schade kunnen induceren, waaronder reactieve zuurstofverbindingen (ROS), enkel- en dubbelstrengige DNA-breuken, PFG, en apoptose in cellen uit navelstrengbloed (UCB) met inbegrip van CD34+ hematopoëtische stam/progenitorcellen. UCB cellen werden blootgesteld aan MW gepulste signalen van GSM900/UMTS test-mobiele telefoons en ROS, apoptose, DNA-schade, en PFG werden geanalyseerd met behulp van flowcytometrie, automatische fluorescentiemicroscopie, beeldvormingsflowcytometrie, de komeettest, en RT-qPCR. Over het algemeen werd geen consistent verschil in DNA-schade, PFG en apoptose tussen blootgestelde en schijnblootgestelde stalen gedetecteerd. Echter, de auteurs vonden een verhoogd ROS-niveau na 1 uur blootstelling aan UMTS, maar dit was niet langer merkbaar 3 uur na de blootstelling. Ze vonden ook dat het niveau van ROS steeg met de hogere graad van cellulaire differentiatie. De gegevens tonen volgens de auteurs aan dat blootstelling van UCB cellen aan gepulste MW resulteerde in een transiënte toename van ROS maar niet in aanhoudende DNA-schade en apoptose.

Genotoxiciteit - In vivo studies

Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, Winters JW, Hobbs CA, Shepard KG, Green AS, Kissling GE, Shockley KR, Tice RR, Bucher JR. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure [Evaluatie van de genotoxiciteit van de radiofrequentiestraling van mobiele telefoons bij mannelijke en vrouwelijke ratten en muizen na subchronische blootstelling]. Environmental and Molecular Mutagenesis. 2019 Oct 21.

Het National Toxicology Program testte twee veel voorkomende modulaties die gebruikt worden bij radiofrequente straling (RFR) die door mobiele telefoons worden uitgezonden in een 2-jaar durende kankerstudie bij knaagdieren waarbij ook tussentijdse beoordelingen van extra dieren voor genotoxische eindpunten werden uitgevoerd. Mannelijke en vrouwelijke Hsd: Sprague Dawley SD ratten en B6C3F1/N muizen werden blootgesteld respectievelijk vanaf dag 5 van de zwangerschap of

vanaf dag 35 na de geboorte aan code division multiple access (CDMA) of aan een globaal systeem voor mobiele modulaties gedurende 18u/dag met intervallen van 10 minuten, in nagalmkamers met stralingswaarden (SAR) van 1.5, 3 of 6 W/kg (ratten, 900 MHz) of 2.5, 5 of 10 W/kg (muizen, 1,900 MHz). Na 19 (ratten) of 14 (muizen) weken van blootstelling werden de dieren onderzocht op bewijs van RFR-geassocieerde genotoxiciteit met behulp van twee verschillende testen. Met behulp van de alkalische (pH > 13) komeetttest werd de DNA-schade beoordeeld in cellen uit drie hersengebieden, levercellen en perifere bloederythrocyten. Met behulp van de micronucleustest werd de chromosomale schade bepaald in immature en mature perifere bloed erythrocyten. De resultaten van de komeetttest toonden een significante toename van de DNA-schade in de frontale cortex van mannelijke muizen (beide modulaties), in leukocyten van vrouwelijke muizen (alleen CDMA) en in hippocampus van mannelijke ratten (alleen CDMA) aan. Toenames in DNA-schade die als 'equivocal' werden beschouwd, werden waargenomen in verschillende andere weefsels van ratten en muizen. Er werden geen significante stijgingen in het aantal rode bloedcellen met micronuclei waargenomen bij ratten of muizen. Op basis van deze resultaten besluiten de auteurs dat blootstelling aan RFR mogelijk gepaard gaat met een toename van de DNA-schade.

Vijayalaxmi, Foster KR, Miyakoshi J, Verschaeve L. Comments on the "Evaluation of the Genotoxicity of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Male and Female Rats and Mice Following Subchronic Exposure" by Smith-Roe et al [Commentaar op de "Evaluatie van de genotoxiciteit van de radiofrequentiestraling van mobiele telefoons bij mannelijke en vrouwelijke ratten en muizen na subchronische blootstelling" door Smith-Roe et al.]. Environ Mol Mutagen. 2020 Feb;61(2):291-293. doi: 10.1002/em.22353.

In hun brief aan de redactie wezen de auteurs op ernstige tekortkomingen van de studie die de interpretatie van de resultaten ervan in gevaar brachten. De bezorgdheid heeft betrekking op zowel experimentele methodologische als statistische aspecten. Onder de methodologische aspecten meldden Vijayalaxmi e.a. een mogelijke bias ten gevolge van de verwerkingstijd na CO₂-stikking van de dieren. Inderdaad, Smith-Roe et al. rapporteerden vrij kleine variaties in hun resultaten. Omdat de resultaten van de komeetttest zeer gevoelig zijn voor kleine verstoringen in de behandeling en verwerking van weefselstalen, kan een potentiële bron van variabiliteit voortkomen uit verschillen in de verwerkingstijd na euthanasie. Smith-Roe et al. beschreven geen voorzorgsmaatregelen om dergelijke effecten te controleren. Bovendien werden twee standaardprotocollen (OESO) niet gevolgd: geen gebruik van gelijktijdige positieve controledieren en geen vermelding van blinde analyse.

Voor wat betreft de statistische aspecten, wijzen Vijayalaxmi e.a. erop dat de werkelijke betekenis van de cijfers in de studie van Smith-Roe e.a. een kwestie van interpretatie is. Er bestaan verschillende mogelijkheden voor het bekomen van "statistisch significante" waarden, bijvoorbeeld statistische type I-fouten als gevolg van het grote aantal vergelijkingen dat de studie met zich meebrengt, een risico dat wordt vergroot door de zeer lage statistische kracht van de studie voor elke reeks van vergelijkingen.

De auteurs concludeerden dat de verklaring aan het eind van de samenvatting in het document "deze resultaten suggereren dat blootstelling aan RFR gepaard gaat met een toename van de DNA-schade" onterecht is en met grote voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd.

Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen

In vivo studies

Seymen CM, Ilgaz C, Erdogan D, Elmas C, Saglam A, Elmazoglu Z, Aral BS, Kaplanoglu GT. Melatonin Modulates NMDA-Receptor 2B/Calpain-1/ Caspase-12 Pathways in Rat Brain After Long Time exposure to GSM Radiation [Melatonine moduleert NMDA-Receptor 2B/Calpain-1/ Caspase-12 Trajecten in de hersenen van de rat na langdurige blootstelling aan GSM-straling]. Turk Neurosurg. 2019;29(6):887-900.

Het doel van de studie was om de mogelijke beschermende effecten van melatonine te onderzoeken tegen de chronische straling die door derde generatie mobiele telefoons op de hersenen wordt uitgezonden. In totaal werden 24 mannelijke Wistar albino-ratten in vier gelijke groepen verdeeld. Gedurende een 90-dagen-durend experiment onderging de controlegroep geen specifieke blootstelling aan straling. De tweede groep werd blootgesteld aan 2100 MHz straling gedurende 30 minuten. Melatonine werd onderhuids geïnjecteerd in de derde groep. Melatonine werd 40 minuten voor de bestraling subcutaan geïnjecteerd en vervolgens werd de vierde groep gedurende 30 minuten aan straling blootgesteld. Aan het einde van het experiment werd hersenweefsel (cerebrum en cerebellum) afgenomen van de proefdieren. Histochemische, immunohistochemische, ultrastructurele en western blot analyses werden toegepast. Naast het hersengewicht werden het aantal Purkinje-cellen, de immunohistochemische H-score analyses en de resultaten van de Western blot statistisch onderzocht. Bij de dieren die werden blootgesteld aan straling werd neuronaal oedeem, een verhoudingsgewijze daling in neuronen in de hippocampale CA1 en CA3 regio's, verplaatsing van de Purkinje neuronen en donkere neuronen als gevolg van histochemische kleuring gedetecteerd. Straling activeerde ook de NMDA-receptor 2B/Calpain-1/Caspase-12 pathway, NMDA-receptor 2B en Calpain-1, waarbij de bevindingen werden ondersteund door western blot analyses. Voorafgaand aan de apoptose werd een verhoogde eiwitsynthese geïdentificeerd door middel van elektronenmicroscopie. Mobiele telefoonstraling veroorzaakte bepaalde (ultra) structurele veranderingen in de hersenen en activeerde de NMDA-receptor 2B/ Calpain-1/Caspase-12 pathway; daarnaast bleek melatonine effectief te zijn, maar onvoldoende om de beschermende effecten aan te tonen.

In vitro studies

Von Niederhäusern N, Ducray A, Zielinski J, Murbach M, Mevissen M. Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on neuronal differentiation and mitochondrial function in SH-SY5Y cells [Effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op de neuronale differentiatie en de mitochondriale functie in SH-SY5Y-cellen]. Toxicology in Vitro. 2019 Dec 1;61:104609.

De blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF) is de afgelopen decennia toegenomen door het toenemende gebruik van mobiele telefoons wereldwijd. Het doel van deze studie was de effecten van RF-EMF op de neuronale differentiatie en de onderliggende signaalwegen die betrokken zijn bij neuronale differentiatie, neurodegeneratie en mitochondriale functie te evalueren. Differentiatie van SH-SY5Y cellen werd uitgevoerd met behulp van all-trans retinoïnezuur of staurosporine om cholinerge en dopaminerge neuronen te verkrijgen. Blootstelling van SH-SY5Y cellen bij 935 MHz, 4 W/kg gedurende 24 uur resulteerde niet in kwantitatieve verschillen in de neuronale fenotypes. Merkers van de onderzochte signaalwegen, namelijk de mitogen-geactiveerde

eiwitkinasen (MAPK), extracellulaire signaalgeruleerde kinasen (Erk) 1 en 2 (p-Erk1/2) en eiwitkinase B (Akt), glycogeen-synthase-kinase 3 β (GSK3 β) en Wnt/ β -catenine werden niet significant beïnvloed door RF-EMF in vergelijking met schijnblootstelling. RF-EMF-blootstelling verstoort mitochondriale ademhaling in cellen onder glucosegebrek, maar glutathionniveaus en mitochondriale splijting en fusie merkers werden niet gewijzigd. Deze bevindingen geven aan dat RF-EMF-blootstelling zou kunnen leiden tot een aantasting van de mitochondriale functie die zich enkel manifesteert bij maximale ademhaling en bij het optreden van extra stressors zoals glucose tekort. Verder onderzoek is nodig om de effecten van RF-EMF op de mitochondriale functie in detail te onderzoeken, omdat mitochondriale stoornissen nauw samenhangen met de pathogenese van neurodegeneratieve ziekten.

Reproductieve en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

Calis P, Seymen M, Soykan Y, Delen K, Aral BS, Take Kaplanoglu G, Karcaaltincaba D. Does exposure of Smart Phones during Pregnancy Affect the Offspring's Ovarian Reserve? A Rat Model Study [Heeft blootstelling aan Smart Phones tijdens de zwangerschap een invloed op de eierstokreserve van het nageslacht? Een onderzoek in een ratmodel]. Fetal and Pediatric Pathology. 2019 Dec 6:1-1.

De auteurs onderzochten het effect van prenatale blootstelling aan smartphone straling en het beschermende effect van omega-3 op de eierstokreserve van het nageslacht. Vierentwintig zwangere Wistar albino-ratten werden verdeeld in vier groepen. Groep-I ontving noch radiofrequente (RF) straling, noch omega-3; groep-II ontving RF; groep-III ontving RF-straling en 300 mg omega-3 en groep-IV ontving RF-straling en 600 mg omega-3 tot aan de geboorte. Na 42 dagen werd bilaterale oophorectomie uitgevoerd op alle vrouwelijke nakomelingen voor follikel telling en immunohistochemische kleuring (GDF9, FOXO1 en TUNEL). Groep-II had een significant lager gemiddeld aantal primordiale ($p = 0,006$) en secundaire follikels ($p = 0,003$) en een hogere atresiascore. De resultaten voor groep-III variabelen waren vergelijkbaar met die voor groep-I. Groep-IV had een statistisch hoger mediaan aantal atretische follikels dan groep-I ($p = 0,023$). De auteurs concludeerden dat de eierstokreserve van de nakomelingen afnam bij blootstelling aan RF tijdens de zwangerschap. Omega-3 supplementen tijdens de zwangerschap leken de potentiële voortijdige uitval van de eierstokken te kunnen verminderen.

Amandokht Saghezchi S, Azad N, Heidari R, Jajarmi V, Abdi S, Abaszadeh HA, Sadjadpour SS, Neikoei N, Heidari MH, Abdollahifar MA. The Effect of Prenatal exposure to 2.4 GHz Radio Frequency on the Histology and Expression of the osteocalcin and RUNX2 Gene of the Forelimb in an NMRI Mouse [Het effect van Prenatale blootstelling aan 2,4 GHz radiofrequentie op de histologie en expressie van de osteocalcine en RUNX2-gen van de voorste ledematen in een NMRI-muis]. J Lasers Med Sci. 2019 Fall;10(4):283-289.

Het gebruik van elektromagnetische golven is drastisch toegenomen in de moderne industriële samenlevingen. Deze studie had tot doel het effect van prenatale blootstelling aan 2.4 GHz draadloze frequentie op de ontwikkeling van de voorste ledematen in een NMRI-muis *in vivo* te onderzoeken. Methoden: In totaal werden 21 vrouwelijke muizen met een gewicht van 25-30 g in de studie opgenomen. Ze werden willekeurig toegewezen aan 3 groepen, namelijk controle ($n=7$),

schijnblootstelling (n=7), en experimentele blootstelling (n=7). Na de paring werd de experimentele groep blootgesteld aan 2,4 GHz RF op 20-30 cm van het apparaat, 4 u/d tot de bevalling. De schijnblootgestelde groep werd elke dag geplaatst op 20-30 cm van het apparaat zonder blootstelling aan elektromagnetische golven, en de controlegroep had een zwangerschapsperiode zonder enige stress noch blootstelling aan elektromagnetische golven. Na de bevalling werden de voorpoten van de zuigelingen geïsoleerd en stereologische studies en RT-PCR werden aangewend voor het evalueren van osteocalcine en RUNX2 genexpressie. Resultaten: Hoewel er op het eerste zicht geen macroscopisch teratogeen effect was in de voorpoten in alle groepen, toonden de auteurs via een stereologische methode aan dat het bot- en kraakbeenvolume in de experimentele groep afnam in vergelijking met de andere groepen. Ze vonden ook dat de experimentele groep een lagere expressie van het osteocalcine en RUNX2 gen had dan de controle- en schijnblootgestelde groepen. Er waren echter geen significante verschillen tussen de controle- en schijnblootgestelde groepen wat betreft bot- en kraakbeenvolume en genexpressie. Conclusie: Hoewel het teratogene effect van prenatale blootstelling aan 2,4 GHz radiofrequentie op de voorpoten niet macroscopisch werd aangetoond, toonden verdere studies negatieve effecten op het bot van de voorpoten, het kraakbeenvolume en de genexpressie.

In vitro/ex vivo studies

Koohestani NV, Zavareh S, Lashkarbolouki T, Azimipour F. Exposure to cell phone induces oxidative stress in mice preantral follicles during *in vitro* cultivation: An experimental study [Blootstelling aan mobiele telefoons veroorzaakt oxidatieve stress in de preantrale follikels van muizen tijdens *in vitro* cultivatie: Een experimentele studie]. Int J Reprod Biomed (Yazd). 2019 Sep 22;17(9):637-646.

De straling van mobiele telefoons wordt verondersteld de menselijke gezondheid te beïnvloeden, en dit aan de hand van verschillende mechanismen zoals de inductie van oxidatieve stress. Deze studie heeft tot doel het effect van blootstelling aan mobiele telefoons op de oxidatieve status van de preantrale follikels (PF's) van muizen tijdens de *in vitro* kweek te onderzoeken. PFs (n=2580) werden mechanisch geïsoleerd van 16 tot 18 dagen oude NMRI-muizen (n=50) en verdeeld in controle- en mobiele telefoonblootstellingsgroepen. PFs werden gekweekt gedurende 12 dagen en de ovulatie werd geïnduceerd met behulp van humaan choriongonadotrofine. De ontwikkelingsparameters zoals grootte, overleving, antrale holtevorming, ovulatie en eicelrijping werden beoordeeld. Parallel hieraan werden de activiteiten van enzymatische antioxidanten, de totale antioxidantcapaciteit (TAC) en de malondialdehyde (MDA) niveaus geëvalueerd.

De diameters en de overlevingskansen, de antrumvorming, de ovulatie en de metafase II oöcyten van de PF's blootgesteld aan de mobiele telefoon waren significant lager dan die van de controlegroep ($p \leq 0,001$). De PFs blootgesteld aan mobiele telefoon hadden significant lagere superoxide dismutase (SOD), glutathion peroxidase (GPX), en catalase (CAT) activiteit in vergelijking met de controlegroep. In de blootgestelde PF's was het TAC-niveau significant lager ($p \leq 0,001$) en de MDA-niveaus significant hoger ($p \leq 0,001$) in vergelijking met die van de controlegroep. Op basis hiervan concluderen de auteurs dat de blootstelling aan mobiele telefoons de ontwikkelingscompetentie van muizen PF's in gevaar bracht door de oxidatieve stress te verhogen.

Andere effecten

In vivo studies

Bouji M, Lecomte A, Gamez C, Blazy K, Villégier AS. Impact of Cerebral Radiofrequency Exposures on Oxidative Stress and Corticosterone in a Rat Model of Alzheimer's Disease [Impact van cerebrale radiofrequentieblootstelling op oxidatieve stress en corticosteron in een ratmodel van de ziekte van Alzheimer]. Journal of Alzheimer's Disease. 2019 Nov 25(Preprint):1-0.

De ziekte van Alzheimer (AD) is de meest courante van de neurodegeneratieve ziekten die leiden tot dementie. Verschillende studies suggereren dat blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) van mobiele telefoons wijzigingen veroorzaakt aan de letsels in het AD-geheugen in knaagdier modellen. Het objectief van deze studie is om de hypothese te testen dat RF-EMF blootstelling het geheugen kan wijzigen door middel van corticosteron en oxidatieve stress in het Samaritaanse rat model voor AD.

Long-Evans mannelijke ratten kregen intracerebroventriculaire infusie met ijzersulfaat, amyloid-beta 1-42 peptide, en buthionine-sufloximine (AD ratten) of met vehikel (controle ratten). Om het gebruik van mobiele telefoons na te bootsen, werden de ratten blootgesteld aan RF-EMV ter hoogte van het hoofd gedurende 1 maand (5 dagen/week, in een systeem waarbij dieren in bedwang werden gehouden). Om de gevarempels te bepalen werden hoge 'brain averaged specific absorption rates' (BASAR) getest: 1,5 W/Kg (15 min), 6 W/Kg (15 min), en 6 W/Kg (45 min). De schijnblootgestelde groep werd gedurende 45 min in het systeem geplaatst om de dieren in bedwang gehouden. De eindpunten waren ruimtelijk geheugen in het radiale doolhof, plasmatisch corticosteron, heem oxygenase-1 (HO1), en amyloïde plaques.

De resultaten wijzen op vergelijkbare corticosteronniveaus, maar verminderde geheugenprestaties en verhoogde cerebrale kleuring van thioflavine en van HO1 in de schijnblootgestelde AD ratten in vergelijking met de controles. Een gecorreleerde toename van de corticale HO1 kleuring was het enige effect van RF-EMV in controle ratten. RF-EMV-blootstelling induceerde in AD ratten een gecorreleerde toename van de hippocampus HO1 kleuring en verminderde het corticosteronniveau. Op basis van deze resultaten vertoonden noch AD noch controle ratten een gewijzigd geheugen na RF-EMV-blootstelling. In tegenstelling tot controle ratten, vertoonden AD ratten een hogere hippocampale oxidatieve stress en een verminderd corticosteronniveau met de hogere BASAR. Dit suggereert een hogere kwetsbaarheid voor neurodegeneratieve ziekten na RF-EMF-blootstelling.

In vitro studies

Alessio N, Santoro E, Squillaro T, Aprile D, Briccola M, Giubbini P, Marchesani R, Muoio MR, Lamberti M. Low-Level Radiofrequency exposure Does Not Induce Changes in MSC Biology: An *in vitro* Study for the Prevention of NIR-Related Damage [Blootstelling aan Laagradiofrequentie leidt niet tot veranderingen in de MSC Biologie: Een *in vitro* studie voor de preventie van NIR-gerelateerde schade]. Stem Cells and Cloning: Advances and Applications. 2019;12:49.

De alomtegenwoordige verspreiding van radiofrequente (RF) straling over de menselijke leefomgeving heeft de aandacht van wetenschappers getrokken. Hoewel de schadelijke gevolgen van RF-blootstelling voor de gezondheid betwistbaar blijven, is gemeld dat de interactie van dergelijke straling met biologische macromoleculaire structuren schadelijk kan zijn voor stamcellen, waardoor hun

voornaamste functies zoals zelfvernieuwing en differentiatie worden aangetast. Het doel van deze studie was om te bepalen of blootstelling aan RF van 169-megahertz (MHz), die deel uitmaakt van het zeer hoge radiofrequentiebereik (VHF) 30-300 MHz, schade aan stamcellen kan veroorzaken door het induceren van senescentie en het verlies van regeneratieve en DNA-herstelcapaciteit.

De studie werd uitgevoerd op mesenchymale stromale cellen (MSC's) die een subpopulatie van stamcellen bevatten. De MSC's werden blootgesteld aan RF's van 169 MHz toegediend via een open meter 2G "Smart Meter" met verschillende tijdsduur. De auteurs hebben geen wijzigingen in de MSC-biologie waargenomen als gevolg van de RF-blootstelling in de experimenten. Zij concludeerden dat de MSC's ongevoelig zijn voor blootstelling aan RF-straling op 169 MHz gedurende verschillende tijdsintervallen, waaronder ook langere tijdsintervallen.

Del Re B, Bersani F, Giorgi G. Effect of electromagnetic field exposure on the transcription of repetitive DNA elements in human cells [Effect van blootstelling aan elektromagnetische velden op de transcriptie van repetitieve DNA-elementen in menselijke cellen]. Electromagnetic biology and medicine. 2019 Oct 2;38(4):262-70.

Over repetitief DNA (RE-DNA) werd lang gedacht dat het inert was; maar recent onderzoek heeft aangetoond dat het kan worden overgeschreven en dat transcriptieverandering kan worden geïnduceerd door omgevingsstress, waardoor menselijke pathologische effecten worden veroorzaakt. Het doel van deze studie was om te bepalen of blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) de transcriptie van RE-DNA zou kunnen beïnvloeden. Hiertoe werden drie verschillende menselijke cellijnen (HeLa, BE(2)C en SH-SY5Y) blootgesteld aan 900 MHz GSM-gemoduleerde RF-EMF met een stralingswaarde (SAR) van 1 W/kg. Na de blootstelling werden de mRNA-niveaus van RE-DNA geëvalueerd door middel van kwantitatieve real-time PCR. De volgende RE-DNA-types werden onderzocht: Long Interspersed nucleotide Element 1, DNA alpha-satellite en Human Endogenous Retroviruses-achtige sequenties. Bij het vergelijken van cellen blootgesteld aan RF-EMF versus controles werden verschillende resultaten gevonden voor de drie geëvalueerde cellijnen, wat volgens de auteurs aangeeft dat blootstelling aan RF-EMV een significante invloed kan hebben op RE-DNA-transcriptie en dat de effecten sterk afhankelijk zijn van de cellulaire context en het weefseltype. Verdere studies zijn nodig om te verduidelijken welke moleculaire mechanismen betrokken zouden kunnen zijn.

Said-Salman IH, Jebaii FA, Yusef HH, Moustafa ME. Global gene expression analysis of Escherichia coli K-12 DH5α after exposure to 2.4 GHz wireless fidelity radiation [Globale genexpressie-analyse van Escherichia coli K-12 DH5α na blootstelling aan 2.4 GHz draadloze getrouwheidsstraling]. Sci Rep. 2019 Oct 8;9(1):14425.

Deze studie onderzocht de niet-thermische effecten van Wi-Fi radiofrequente straling van 2.4 GHz op de globale genexpressie in Escherichia coli K-12 DH5α. High-throughput RNA-sequencing van 2.4 GHz blootgestelde en niet-blootgestelde bacteriën toonde aan dat 101 genen differentieel tot expressie kwamen (DEG's) bij $P \leq 0.05$. Er waren 52 up-gereguleerde genen en 49 down-gereguleerde genen. QRT-PCR-analyse van *pgaD*, *fliC*, *cheY*, *malP*, *malZ*, *motB*, *alsC*, *alsK*, *appB* en *appX* bevestigde de RNA-seq resultaten. Ongeveer 7% van de DEG's zijn betrokken bij de organisatie van de cellulaire componenten, 6% in reactie op stress stimulus, 6% in biologische regulatie, 6% in lokalisatie, 5% in motoriek en 3% in ceadhesie. De 'database for annotation, visualization and integrated discovery (DAVID) functional clustering' toonde aan dat DEG's met een hoge verrijkingsscore genen bevatten

voor lokalisatie van de cel, voortbeweging, chemotaxis, reactie op externe stimulus en celadhesie. Kyoto encyclopedie van genen en genomen (KEGG) pathways analyse toonde aan dat de pathways voor flagellaire assemblage, chemotaxis en tweecomponentensysteem werden beïnvloed. Go verrijkingsanalyse gaf aan dat de up-gereguleerde DEGs betrokken zijn bij metabole paden, transpositie, reactie op stimuli, motiliteit, chemotaxis en celadhesie. De downregulated DEGs zijn geassocieerd met metabole paden en lokalisatie van ionen en organische moleculen. Bijgevolg toont de studie volgens de auteurs aan dat blootstelling van E. coli DH5 α aan Wi-Fi radiofrequente straling gedurende 5 uur van invloed op verschillende bacteriële cellulaire en metabole processen.

Algemene opmerkingen

Naast studies met 2G of 3G-signalen bevat dit overzicht ook verschillende studies die zich richten op de effecten van millimetergolven, met een vergelijkbaar bereik als 5G-signalen. Momenteel zijn er geen overtuigende bijkomende aanwijzingen voor nadelige effecten van RF-straling op de menselijke gezondheid.