Overzicht van studies over de gezondheidseffecten van radiofrequente straling die in 2022 werden gepubliceerd

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Het Departement Omgeving volgt de meest recente wetenschappelijke onderzoeken op om snel te kunnen inspelen op de resultaten. Het opvolgen en evalueren van nieuw onderzoek gebeurt door experten van Sciensano, IMEC en de Universiteit Gent. Een overzicht van de resultaten van nieuw onderzoek kan je steeds terugvinden op onze website. De studies gaan onder andere over onderzoek op cellen, op proefdieren en bevolkingsonderzoek naar mogelijke effecten van de straling die gebruikt wordt voor draadloze communicatie. We nemen in het overzicht enkel onderzoek op dat op een wetenschappelijk onderbouwde manier is uitgevoerd.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Els De Waegeneer - Universiteit Gent
Birgit Mertens - Sciensano Maryse Ledent - Sciensano
Maryse Ledent - Sciensano
Seppe Segers - Sciensano

Overzicht van de epidemiologische en humaan-experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het eerste trimester van 2022 werden gepubliceerd.

dr. Els De Waegeneer
Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg
Universiteit Gent

1 REVIEWS EN META-ANALYSES

1.1 EFFECTEN VAN SMARTPHONESTRALING OP ZWANGERSCHAP

een systematische reviewEl Jarrah, I., Rababa, M. (2022). Impacts of smartphone radiation on pregnancy: A systematic review. Heliyon, 8. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08915

Achtergrond en doel: De COVID-19-pandemie heeft gevolgen voor alle aspecten van het leven van mensen, waarbij veel taken en diensten nu online worden geleverd met als doel het contact te verminderen en verdere overdracht van de ziekte te voorkomen. Dit heeft geleid tot een toename van het gebruik van draagbare elektronische apparaten (d.w.z. mobiele telefoons, smartphones, laptops), die verschillende frequenties van elektromagnetische veldstraling (EMF) uitzenden. Het bewijs over de schadelijke effecten van blootstelling aan EMV-straling op het menselijk lichaam, met name tijdens de zwangerschap, is echter schaars. Verder moeten de gerelateerde onderzoeken in de literatuur nog systematisch worden beoordeeld. Indien onbeheerd, wordt de absorptie van EMV-straling door de buik van de moeder tijdens de zwangerschap geassocieerd met ernstige geboorte-en zuigelingenresultaten. Deze studie was bedoeld om de gepubliceerde onderzoeken naar de directe effecten van EMV-straling van mobiele telefoons op zwangerschap, geboorte en zuigelingenresultaten systematisch te beoordelen.

Methode: Na een systematische zoektocht met behulp van de PRISMA-richtlijnen werden in totaal 18 artikelen opgehaald uit 5 databases. Studies die de negatieve gevolgen van blootstelling aan EMV-straling op de gezondheid van moeders, volwassenen en kinderen onderzochten, werden opgenomen. De artikelen werden vervolgens gesorteerd op basis van de vraag of hun bevindingen verband hielden met de effecten van EMV op fysiologische of zwangerschapsuitkomsten.

Resultaten: De bevindingen van deze review toonden aan dat blootstelling aan EMV-straling geassocieerd is met hormonale, thermische en cardiovasculaire veranderingen bij volwassenen. In de beoordeelde onderzoeken werd echter niet specifiek rekening gehouden met de effecten van blootstelling aan EMV-straling op de zwangerschapsuitkomsten, wat het moeilijk maakt om conclusies te trekken uit deze beoordeling. Slechts vier van de beoordeelde onderzoeken werden uitgevoerd onder zwangere vrouwen. Deze studies meldden dat blootstelling aan EMV-straling tijdens de zwangerschap gepaard gaat met miskramen en schommelingen in de foetale temperatuur en hartslagvariabiliteit, evenals met antropometrische metingen bij zuigelingen.

Conclusie van de auteurs: Er moet meer onderzoek worden gedaan om de specifieke effecten van blootstelling aan EMV-straling op zwangerschap, geboorte en zuigelingenresultaten te identificeren. Zorgaanbieders en onderzoekers wordt aanbevolen om samen te werken om de volksgezondheid te door middel van openbaar onderwijs en geactualiseerd organisatiebeleid om deze milieurisico's te beperken door het gebruik van veilige technologieën aan te moedigen.

Opmerking van dr. De Waegeneer: de beoordeelde onderzoeken hielden geen specifieke rekening met de effecten van blootstelling aan EMV-straling op zwangerschapsuitkomsten, wat de conclusie van de auteurs devalueert. Verschillende andere methodologische kwesties in deze review zijn van belang om de sterke bewering van de auteurs kritisch te bekijken. Studies ouder dan 5 jaar werden bijvoorbeeld allemaal uitgesloten van het onderzoek.

1.2 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS EN HET RISICO OP HOOFDPIJN

een systematische review en meta-analyse
Farashi, S., Bashirian, S., Khazai, S., Khazai, M., Farhadinasa A. (2022). Mobile phone electromagnetic radiation and the risk of headache: a systematic review and meta-analysis. International Archives of Occupational and Environmental Health. Online ahead of print.
https://doi.org/10.1007/s00420-022-01835-x

Achtergrond en doel: De effecten van elektromagnetische velden van mobiele telefoons op hoofdpijn zijnde afgelopen decennia onderzocht. Tot nu toe zijn er echter tegenstrijdige resultaten gerapporteerd. Het doel van deze studie was om een systematische review en meta-analyse over het onderwerp uit te voeren.

Methode: In deze systematische review en meta-analyse werden belangrijke databases, waaronder PubMed, Scopus en Web of Science, doorzocht met behulp van geschikte zoektermen en PRISMA-richtlijnen om geschikte studieste vinden over het effect van mobiele telefoongebruik op hoofdpijn. Na de abstracten full-text screening werden 33 studies geselecteerden werd de effectgrootte in termen van odds ratio (OR) geëxtraheerd. De heterogeniteit tussen de onderzoeken werd beoordeeld met behulp van I2-statistieken en Q-test, terwijl publicatiebias werd geëvalueerd door trechterplot en Egger's en Begg's-tests.

Resultaten: Van de 33 in aanmerking komende onderzoeken werden 30 in aanmerking komende onderzoeken in de meta-analyse opgenomen. Bij het beschouwen van alle onderzoeken werd de gepoolde effectgrootte van OR = 1,30 (95% BI 1,21-1,39) verkregen, terwijl de heterogeniteit tussen de onderzoeken significant was. Om de bron van heterogeniteit te vinden, werden subgroepanalyses uitgevoerd door rekening te houden met de leeftijd van de deelnemers en de duur van de blootstelling aan EMV. De odds-ratio's wanneer de leeftijd van de deelnemers de variabele was, waren respectievelijk 1,33 (95%-BI 1,14-1,53) en 1,29 (95%-BI 1,20-1,37), voor leeftijden > 18 en leeftijd ≤ 18 jaar. Wanneer de duur van de blootstelling aan EMV in aanmerking werd genomen, verkreeg subgroepanalyse de gepoolde effectgrootte van OR = 1,41 (95% BI 1,22–1,61) en 1,23 (95% BI 1,12–1,34), voor een

blootstellingsduur aan EMV > 100 en ≤ 100 minuten per week, respectievelijk. De gepoolde effectgroottes benadrukten het effect van het gebruik van mobiele telefoons op hoofdpijn voor alle leeftijden en blootstellingsduren.

Conclusie van de auteurs: Resultaten lieten zien dat leeftijd en blootstellingsduur (voornamelijk gespreksduur), beide de bron waren van heterogeniteit tussen onderzoeken. Bovendien toonden de resultaten aan dat het verhogen van de gespreksduur en het gebruik van mobiele telefoons bij oudere personen het risico op hoofdpijn verhoogde.

Opmerking: Er moet een onderscheid worden gemaakt tussen de effecten van RF-straling en het effect van het gebruik van mobiele telefoons als zodanig, omdat er een mogelijke bias zou kunnen ontstaan. Dit wordt niet besproken door de auteurs. De kwaliteitsbeoordeling van de opgenomen onderzoeken roept vragen op over de beoordeling van de blootstelling aan RF.

2 GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS

2.1 EFFECT VAN DE DUUR VAN HET GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS TIJDENS DE ZWANGERSCHAP OP DE ALGEMENE MOTORISCHE BEWEGINGEN VAN ZUIGELINGEN

Bektas, H., Bektas, M.S., Dasdag, S. (2022). Effect of mobile phone usage duration during pregnancy on the general motor movements of infants. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 36(1), 56–66. https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2046505

Achtergrond en doel: Radiofrequente straling (RFR) uitgezonden door draadloze apparaten neemt snel toe en de meest gevoelige groepen zijn zwangere vrouwen en kinderen. De auteurs wilden de onrustige bewegingen (FM's) en motorische repertoires van de zuigelingen van zwangere vrouwen met verschillende duur van het gebruik van mobiele telefoons (DOMFU) in de prenatale periode evalueren door een algemeen onderzoek uit te voeren van de bewegingsbeoordeling (GMA) met behulp van de Prechtl-methode.

Methode: Zuigelingen die geschikt waren voor het onderzoek werden verdeeld in 4 groepen op basis van de duur van het mobiele telefoongebruik van hun moeder tijdens de zwangerschap, bestaande uit degenen die geen mobiele telefoon gebruikten(controlegroep, n: 31), degenen die een mobiele telefoon gebruikten (MFU) van ~ 20 min per dag (Groep 1, n: 33), die met MFU van ~ 40 min per dag (Groep 2, n: 31), en die met MFU van ~ 2 uur per dag (Groep 3, n: 28).

Resultaat: De analyse toonde aan dat de abnormale fidgety (AF) en afwezige fidgety (F–), suboptimale motoroptimalisatiescore (MOS) en verminderd motorrepertoire statistisch hoger waren in Groep 3 in vergelijking met de andere groepen. De normale houding en de kwaliteit van andere bewegingenwaren statistisch hoger in de controlegroep en in groep 1 en 2 in vergelijking met groep 3. Volgens de bevindingen verschilden baby's van moeders met

verschillende DOMFU tijdens de zwangerschap met betrekking tot de kwaliteit van FM's, MOS, repertoire, houding en andere bewegingen.

Conclusie van de auteurs: De bevindingen suggereerden dat er mogelijk een verband bestaat tussen prenatale RFR-blootstelling en motorische ontwikkeling bij zuigelingen. Er zijn meer langetermijnstudies nodig om te bepalen of deze veranderingen tijdelijk of permanent zijn.

Opmerking: Bij het bestuderen van de mogelijke relatie moeten ook andere verstorende variabelen worden overwogen. Bovendien is de beoordeling van de stralingsblootstelling door het gebruik van mobiele telefoons (MFU) aantoonbaar nauwkeurig en blijft deze zeer vatbaar voor recall-bias. Er is meer onderzoek nodig over dit onderwerp.

2.2 GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS EN HET RISICO OP HERSENTUMOREN: UPDATE VAN DE UK MILLION WOMEN STUDY

Schüz, J., Pirie, K., Reeves, G.K., Floud, S., Beral, V. (2022). Cellular Telephone Use and the Risk of Brain Tumors: Update of the UK Million Women Study. Journal of the National Cancer Institute. https://doi.org/10.1093/jnci/djac042

Achtergrond en doel: Het debat over de vraag of het gebruik van mobiele telefoons het risico op het ontwikkelen van een hersentumor verhoogt, werd onlangs aangewakkerd door de lancering van de vijfde generatie draadloze technologieën. Hier updaten de auteurs de follow-up van een grootschalige prospectieve studie naar de associatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en hersentumoren.

Methode: In 1996-2001 werden 1,3 miljoen vrouwen, geboren in 1935-1950,gerekruteerd voor het onderzoek. Vragen over het gebruik van mobiele telefoons werden voor het eerst gesteld in het jaar 2001 en opnieuw in het jaar 2011. Alle deelnemers aan de studie werden gevolgd via een koppeling naar databases van de National Health Services over sterfgevallen en kankerregistraties (inclusief niet-kwaadaardige hersentumoren).

Resultaten: Gedurende 14 jaar follow-up van 776 156 vrouwen die de vragenlijst van 2001 invulden, werden in totaal 3268 incidente hersentumoren geregistreerd. Gecorrigeerde relatieve risico's voor ooit versus nooit mobiel bellen waren 0,97 (95% betrouwbaarheidsinterval = 0,90 tot 1,04) voor alle hersentumoren, 0,89 (95% betrouwbaarheidsinterval = 0,80 tot 0,99) voor glioom, en niet statistisch significant verschillend van 1,0 voor meningeoom , hypofysetumoren en akoestisch neuroom. Vergeleken met nooit-gebruikers werden geen statistisch significante associaties gevonden, globaal of per tumorsubtype, voor dagelijks gebruik van mobiele telefoons of voor het gebruik van mobiele telefoons gedurende ten minste 10 jaar. Met gebruik in 2011 als baseline, waren er geen statistisch significante associaties met minimaal 20 minuten per week praten of met minimaal 10 jaar gebruik. Voor gliomen die voorkomen in de temporale en pariëtale kwabben, de delen van de hersenen die het meest

waarschijnlijk worden blootgesteld aan radiofrequente elektromagnetische velden van mobiele telefoons, waren de relatieve risico's iets minder dan 1,0.

Conclusie van de auteurs: Deze bevindingen ondersteunen het toenemende bewijs dat het gebruik van mobiele telefoons onder normale omstandigheden de incidentie van hersentumoren niet verhoogt.

2.3 MOGELIJKE GEZONDHEIDSEFFECTEN OP HET MENSELIJK BREIN DOOR VERSCHILLENDE GENERATIES MOBIELE TELECOMMUNICATIE: EEN OP BEOORDELINGEN GEBASEERDE SCHATTING VAN DE 5G-IMPACT

Hinrikus, H., Koppel, T., Lass, J., Orru, H., Roosipuu, P., Bachmann, M. (2022). Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. International Journal of Radiation Biology, 1-12. Doi: 10.1080/09553002.2022.2026516

Achtergrond en doel: De inzet van nieuwe 5G NR-technologie heeft de publieke bezorgdheid aanzienlijk doen toenemen over mogelijke negatieve effecten op de menselijke gezondheid door radiofrequente elektromagnetische velden (RF EMF). De huidige review is bedoeld om de verschillen tussen mogelijke gezondheidseffecten veroorzaakt door de verschillende generaties telecommunicatietechnologie te verduidelijken, met name het bespreken en projecteren van mogelijke gezondheidseffecten door 5G. Het overzicht van experimentele onderzoeken naar het menselijk brein in de afgelopen vijftien jaar en de discussie over fysieke mechanismen en factoren die de afhankelijkheid van de RF EMF-effecten op frequentie en signaalstructuur bepalen, zijn uitgevoerd om het mogelijke onderscheid tussen gezondheidseffecten door verschillende telecommunicatie generaties.

Conclusie van de auteurs: De menselijke experimentele studies naar RF EMF effecten op de menselijke hersenen door 2G, 3G en 4G bij frequenties van 450 tot 2500 MHz waren beschikbaar voor analyse. De zoektocht naar publicaties duidde niet op menselijke experimentele studies met 5G, noch op de RF EMF-frequenties hoger dan 2500 MHz. De resultaten van de huidige review laten geen consistent verband zien tussen het karakter van RF EMV-effecten en blootstellingsparameters door verschillende generaties (2G, 3G en 4G) telecommunicatietechnologie. Bij de RF EMF-frequenties lager dan 10 GHz zou de impact van 5G NR FR1 geen principiële verschillen moeten hebben met de vorige generaties. De radiofrequenties die in 5G worden gebruikt zijn nog hoger en de penetratiedieptes van de velden zijn kleiner; daarom is het effect eerder lager dan bij vorige generaties. Bij de RF EMF-frequenties hoger dan 10 GHz kan het mechanisme van de effecten verschillen en wordt de impact van 5G NR FR2 onvoorspelbaar. Bestaande kennis over het mechanisme van RF EMF-effecten bij millimetergolven ontbreken voldoende experimentele gegevens en theoretische modellen voor betrouwbare conclusies. De onvoldoende kennis over de mogelijke gezondheidseffecten bij millimetergolven en het ontbreken van in vivo experimentele studies over 5G NR onderstrepen

een dringende behoefte aan theoretisch en experimenteel onderzoek naar gezondheidseffecten door 5G NR, vooral door 5G NR FR2.

2.4 DRAADLOOS TELEFOONGEBRUIK IN DE KINDERTIJD EN ADOLESCENTIE EN NEURO-EPITHELIALE HERSENTUMOREN: RESULTATEN VAN DE INTERNATIONALE MOBI-KIDS-STUDIE

Castano-Vinyals, G. et al.(2022). Wireless phone use in childhood and adolescence and neuroepithelial brain tumours: Results from the international MOBI-Kids study. Environmental International, 160. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107069

Achtergrond en doel: In de afgelopen decennia was de mogelijkheid dat het gebruik van mobiele communicatieapparatuur, met name draadloze (mobiele en draadloze) telefoons, het risico op hersentumoren verhoogt, een punt van zorg, vooral gezien de aanzienlijke toename van het gebruik ervan door jongeren. MOBI-Kids, een case-control studie in 14 landen (Australië, Oostenrijk, Canada, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, India, Israël, Italië, Japan, Korea, Nederland, Nieuw-Zeeland, Spanje), werd uitgevoerd om te evalueren of draadloze telefoongebruik (en met name de daaruit voortvloeiende blootstelling aan radiofrequentie (RF) en extreem laagfrequente (ELF) elektromagnetische velden (EMF)) het risico op hersentumoren bij jonge mensen verhoogt.

Methode: Tussen 2010 en 2015 rekruteerde de studie 899 mensen met hersentumoren binnein de leeftijd van 10 tot 24 jaar en 1.910 controles (geopereerd voor blindedarmontsteking) die overeenkwamen met de gevallen op datum van diagnose, onderzoeksgebied en leeftijd. De deelnamepercentages waren 72% voor gevallen en 54% voor controles. De gemiddelde leeftijden van de gevallen en de controles waren respectievelijk 16,5 en 16,6 jaar; 57% was man. De overgrote meerderheid van de deelnemers aan de studie waren gebruikers van draadloze telefoons, zelfs in de jongste leeftijdsgroep, en de studie omvatte een aanzienlijk aantal langdurige (meer dan 10 jaar) gebruikers: 22% in het algemeen, 51% bij de 20-24-jarigen . De meeste tumoren waren van het neuro-epitheliale type (NBT; n = 671), voornamelijk glioom.

Resultaten: De odds ratio's (OR) van NBT leken af te nemen met toenemende tijd sinds het begin van het gebruik van draadloze telefoons, het cumulatieve aantal gesprekken en de cumulatieve gesprekstijd, vooral in de leeftijdsgroep van 15-19 jaar. Een afnemende trend in OR's werd ook waargenomen met toenemende geschatte cumulatieve RF-specifieke energie en ELF-geïnduceerde stroomdichtheid op de locatie van de tumor. Verdere analyses suggereren dat het grote aantal OR's van minder dan 1 in dit onderzoek waarschijnlijk geen onbekend causaal preventief effect van blootstelling aan mobiele telefoons vertegenwoordigt: ze kunnen op zijn minst gedeeltelijk worden verklaard door differentiële herinnering door proxy's en prodromale symptomen die het telefoongebruik beïnvloeden vóór de diagnose van de gevallen. De auteurs kunnen echter niet uitsluiten dat er sprake is van restverstoring van bronnen die zij niet hebben gemeten.

Conclusie van de auteurs: Over het algemeen levert deze studie geen bewijs voor een causaal verband tussen het gebruik van draadloze telefoons en hersentumoren bij jonge mensen. De

hierboven opgesomde bronnen van bias voorkomen echter dat ze een klein verhoogd risico uitsluiten.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

/

4 MENSELIJKE EXPERIMENTELE STUDIES

4.1 STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS KAN DE GENEXPRESSIE IN DE ORALE PLAVEISELEPITHEELCELLEN VERANDEREN

Khalil, A.M., Al-Quaud K.M., Alemam, I.F., Okour, M.A. (2022). Mobile phone radiation might alter gene expression in the oral squamous epithelial cells. Egyptian Journal of Medical Human Genetics, 23(12). https://doi.org/10.1186/s43042-022-00231-x

Achtergrond en doel: Steeds meer bewijs heeft aangetoond dat radiofrequente straling (RFR) die wordt uitgezonden door mobiele telefoons een potentiële factor is voor DNA-schade. Of RFR de genexpressie van menselijke genen beïnvloedt, vereist nog nader onderzoek. Dit kan helpen bij het begrijpen van de werkingsmechanismen van deze straling. In de veronderstelling dat de expressie van BAMBI en Survivin in de orale plaveiselepitheelcellen zou kunnen worden gewijzigd als reactie op blootstelling aan RF-elektromagnetisch veld (RF-EMF), werd de huidige studie uitgevoerd op een groep jonge universitaire studentvrijwilligers.

Resultaten: Statistische analyse van de RT-PCR-gegevens gaf aan dat er geen significante associatie (P-waarde > 0,05) bestaat tussen de expressie van beide genen en noch de lengte van de geschiedenis, noch de frequentie van het telefoongebruik.

Conclusie van de auteurs: Hoewel er in dit vooronderzoek geen duidelijke RF-EMF-signatuur op genexpressie kon worden gedetecteerd, is het een van de weinige onderzoeken die aangeeft dat er bij mensen veranderingen op moleculair niveau kunnen plaatsvinden als reactie op chronische EMR van mobiele telefoons blootstelling. Nader onderzoek op dit gebied is gerechtvaardigd.

Opmerking: het lijktopmerkelijk en misleidend hoe de auteurs aangeven dat hun bevindingen geen significant verband aantonen tussen de expressie van beide genen, noch de lengte van de geschiedenis, noch de frequentie van het telefoongebruik, en toch de conclusie trekken in de richting van het tegenovergestelde standpunt. Ook het feit dat hun titel het

tegenovergestelde suggereert van deze feitelijke bevindingen, zou de lezers van het artikel moeten waarschuwen om met een kritische blik naar deze studie te kijken.

4.2 STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS VERHINDERT HOMEOSTASE VAN HERSENENERGIE EN LEIDT TOT INNAME VAN MENSELIJK VOEDSEL

Wardzinski, E.K., Jauch-Chara, K., Haars, S., Melchert, U.H., Scholand-Engler H.G., Oltmanns, K.M. (2022). Mobile Phone Radiation Deflects Brain Energy Homeostasis and Prompts Human Food Ingestion. Nutrients, 14,339. https://doi.org/10.3390/nu14020339

Achtergrond en doel: Obesitas en het gebruik van mobiele telefoons hebben zich tegelijkertijd wereldwijd verspreid. Radiofrequentie-gemoduleerde elektromagnetische velden (RF-EMF's) die door mobiele telefoons worden uitgezonden, worden grotendeels geabsorbeerd door het hoofd van de gebruiker, beïnvloeden het cerebrale glucosemetabolisme en moduleren de neuronale prikkelbaarheid. Aanpassing van het lichaamsgewicht is op zijn beurt een van de belangrijkste hersenfuncties, aangezien voedselinnamegedrag en eetlustperceptie ten grondslag liggen aan de regulatie van de hypothalamus. Tegen deze achtergrond vroegen de auteurs zich af of straling van mobiele telefoons en voedselinname verband kunnen houden.

Methode: In een enkelblinde, schijn-gecontroleerde, gerandomiseerde cross-over vergelijking werden 15 jonge mannen met een normaal gewicht (23,47 _ 0,68 jaar) blootgesteld aan 25 minuten RF-EMF's uitgezonden door twee verschillende typen mobiele telefoons versus schijnstraling tijdens vasten. Spontane voedselinname werd beoordeeld door een ad libitum standaard buffettest en cerebrale energiehomeostase werd gevolgd door 31 fosformagnetische resonantiespectroscopiemetingen.

Resultaten: Blootstelling aan beide mobiele telefoons verhoogde de totale calorie-inname opvallend met 22-27% in vergelijking met de schijnconditie. Differentiële analyses van de inname van macronutriënten lieten zien dat een hoger calorieverbruik voornamelijk te wijten was aan een verhoogde inname van koolhydraten. Metingen van de cerebrale energie-inhoud, d.w.z. de verhoudingen van adenosinetrifosfaat en fosfocreatine tot anorganisch fosfaat, vertoonden een toename bij straling van mobiele telefoons.

Conclusie van de auteurs: Deze resultaten identificeren RF-EMF als een mogelijke factor die bijdraagt aan overeten, wat ten grondslag ligt aan de obesitas-epidemie. Daarnaast kunnen de waargenomen RF-EMF-geïnduceerde veranderingen van de hersenenergiehomeostase deze gegevens in een bredere context plaatsen, omdat een evenwichtige hersenenergiehomeostase van fundamenteel belang is voor alle hersenfuncties. Potentiële storingen door elektromagnetische velden kunnen daarom enkele algemene neurobiologische effecten uitoefenen, die nog niet te voorzien zijn.

4.3 GESCHATTE DOSISSEN VOOR RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN GEDURENDE DE HELE DAG EN AVOND IN DE HERSENEN EN SLAAP BIJ PREADOLESCENTEN

Cabré-Riera, A., Van Wel, L., Liorni, I., Koopman-Verhoeff, M.E., Imaz, L., Ibarluza, J., Huss, A., Wiart, J., Vermeulen, R., Joseph, W., Capstick, M., Vrijheid, M., Cardis, E., Röosli, M., Eeftens, M., Thielens, A., Tiemeier, H., Guxens, M. (2022). Environmental Research, 204. Online ahead of print. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112291

Achtergrond en doel: Onderzoek naar de associatie van geschatte radiofrequente elektromagnetische veld (RF-EMF) doses gedurende de hele dag en avond met slaapstoornissen en objectieve slaapmetingen bij preadolescenten.

Methode: De auteurs omvatten preadolescenten in de leeftijd van 9-12 jaar uit twee populatie gebaseerde geboortecohorten, de Nederlandse Generation R-studie (n = 974) en het Spaanse INfancia y Medio Ambiente Project (n = 868). De hele dag en avond totale RF-EMF-doses (mJ/kg/dag) werden geschat voor verschillende RF-EMF-bronnen, waaronder mobiele en DECT-telefoongesprekken (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) (namelijk telefoongesprekken), ander gebruik van mobiele telefoons , tabletgebruik, laptopgebruik (genoemde schermactiviteiten) en verre bronnen. De auteurs schatten ook de RF-EMF-doses voor de hele dag en de avond afzonderlijk in deze drie groepen (d.w.z. telefoongesprekken, schermactiviteiten en verre veld). De Sleep Disturbance Scale for Children werd door moeders ingevuld om slaapstoornissen te beoordelen. Polsversnellingsmeters samen met slaapdagboeken werden gebruikt om slaapkenmerken gedurende 7 opeenvolgende dagen objectief te meten.

Resultaten: RF-EMF-doses voor de hele dag waren niet geassocieerd met zelf gerapporteerde slaapstoornissen en objectieve slaapmetingen. Wat de avonddoses betreft, hadden preadolescenten met een hoge avonddosis RF-EMF in de avond van telefoongesprekken een kortere totale slaaptijd vergeleken met preadolescenten met nul avonddosis RF-EMF in de avond van telefoongesprekken [-11,9 min (95% BI -21,2 ; 2.5)].

Conclusie van de auteurs: De bevindingen suggereren dat de avond een mogelijk relevant venster is voor RF-EMF-blootstelling voor slaap. Ze kunnen echter niet uitsluiten dat de waargenomen associaties te wijten zijn aan de activiteiten of redenen die de telefoontjes motiveren, in plaats van aan de blootstelling aan RF-EMF zelf of aan toevalsbevinding.

Algemene conclusie van dit trimester

De meeste epidemiologische onderzoeken ondersteunen geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en verschillende soorten tumoren. Ook andere negatieve gezondheidseffecten zijn niet overtuigend wetenschappelijk bewezen. Er is echter nog meer onderzoek nodig naar opkomende technologieën zoals 5G.Er is een overvloed aan onderzoeken naar het gezondheidseffect van het gebruik van mobiele telefoons, maar de kwaliteit van veel onderzoeken is slecht en hun auteurs missen vaak een zelfkritische houding bij het beschrijven van mogelijke vooroordelen(bias) tijdens de onderzoeken.

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het eerste trimester van 2022 werden gepubliceerd.

Seppe Segers, Maryse Ledent, & Birgit Mertens
Sciensano, Dienst Risico- en Gezondheidsimpactevaluatie

1 REVIEWS

Hinrikus H, Koppel T, Lass J, Orru H, Roosipuu P, Bachmann M. Mogelijke gezondheidseffecten op de menselijke hersenen door verschillende generaties mobiele telecommunicatie: een review-gebaseerde inschatting van de impact van 5G [Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact] [published online ahead of print, 2022 Jan 31]. *Int J Radiat Biol*. 2022;1-12. doi:10.1080/09553002.2022.2026516

Doel: De inzet van de nieuwe 5G NR technologie heeft de publieke bezorgdheid over mogelijke negatieve effecten op de menselijke gezondheid door radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) aanzienlijk doen toenemen. Dit overzichtsartikel is bedoeld om de verschillen te verduidelijken tussen mogelijke gezondheidseffecten veroorzaakt door de verschillende generaties van telecommunicatietechnologie, met een focus op 5G. Er werd een overzicht gemaakt van de experimentele studies naar effecten op de menselijke hersenen die werden uitgevoerd gedurende de laatste vijftien jaar en de fysische mechanismen en factoren die de afhankelijkheid van de effecten van RF-EMV van frequentie en de signaalstructuur bepalen werden besproken om op die manier de mogelijke verschillen tussen gezondheidseffecten door verschillende telecommunicatiegeneraties te identificeren en te verklaren.

Conclusies: Er waren verschillende humane experimentele studies over RF-EMV effecten op de hersenen beschikbaar voor 2G, 3G en 4G bij frequenties van 450 tot 2500 MHz. Er werden echter geen publicaties gevonden van humane experimentele studies bij 5G, noch bij de RF-EMV frequenties hoger dan 2500 MHz. Hinrikus en collega's concluderen dat er geen consistent verband aanwezig bestaat tussen de aard van RF-EMV-effecten en blootstellingsparameters bij verschillende generaties (2G, 3G en 4G) van telecommunicatietechnologie. Bij de RF-EMV-frequenties lager dan 10 GHz zou het effect van 5G NR FR1 geen wezenlijke verschillen mogen vertonen ten opzichte van de vorige generaties. De in 5G gebruikte radiofrequenties zijn nog hoger en de penetratiediepten van de velden zijn kleiner; daarom worden de mogelijke effecten kleiner ingeschat dan bij de vorige generaties. Bij RF-EMV-frequenties hoger dan 10 GHz kan het mechanisme van de effecten verschillen en wordt het effect van 5G NR FR2 onvoorspelbaar. De bestaande kennis over het mechanisme van RF-EMV-effecten bij millimetergolven ontbreekt voldoende experimentele gegevens en theoretische modellen voor betrouwbare conclusies. De ontoereikende kennis over de mogelijke gezondheidseffecten bij millimetergolven en het gebrek aan in vivo experimentele studies over 5G NR onderstrepen dat er dringend behoefte is aan theoretisch en experimenteel onderzoek naar de gezondheidseffecten van 5G NR, met name van 5G NR FR2.

Romeo S, Zeni O, Scarfì MR, Poeta L, Lioi MB, Sannino A. Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en apoptose: Een overzicht van in vitro studies op zoogdiercellen [Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and Apoptosis: A Scoping Review of In Vitro Studies on Mammalian Cells.] Int J Mol Sci. 2022;23(4):2322. Published 2022 Feb 19. doi:10.3390/ijms23042322

In de laatste decennia zijn experimentele studies uitgevoerd om de effecten van blootstelling aan radiofrequente (RF, 100 kHz-300 GHz) elektromagnetische velden (EMV) op het apoptoseproces te onderzoeken. Aangezien een empirisch onderbouwde kritische evaluatie van RF en apoptose in vitro ontbreekt, hebben de auteurs een literatuuronderzoek uitgevoerd met als doel het onderzoek op dit gebied systematisch in kaart te brengen en leemten in de kennis te identificeren. In aanmerking kwamen in vitro studies naar apoptose in zoogdiercellen die waren blootgesteld aan RF-EMV, die voldeden aan elementaire kwaliteitscriteria (schijncontrole, ten minste drie onafhankelijke experimenten, passende dosimetrie-analyse en temperatuurbewaking). De auteurs voerden een systematisch literatuuronderzoek uit en brachten de gegevens in kaart om een overzicht te krijgen van de belangrijkste kenmerken van de geïncludeerde studies. Van de 4362 papers die met de zoekstrategie van de auteurs werden opgehaald, waren er 121 relevant, maar daarvan voldeden er slechts 42 aan de basiskwaliteitscriteria. De auteurs hebben de gegevens met betrekking tot de blootstelling (frequentie, blootstellingsniveau en -duur) en de biologische parameters (celtype, eindpunt) samengevoegd en een aantal kwalitatieve tendensen belicht met betrekking tot de detectie van een significant effect van RF-EMV op het apoptoseproces. De auteurs gaven een kwalitatief beeld van het tot dusver verzamelde bewijsmateriaal, en benadrukten dat de kwaliteit van de experimentele methodologie nog sterk moet worden verbeterd.

2 NEOPLASCHE ZIEKTEN

2.1 IN VIVO STUDIES

Ding Z, Xiang X, Li J, Wu S. Moleculair mechanisme van kwaadaardige transformatie van Balb/c-3T3-cellen geïnduceerd door langdurige blootstelling aan 1800 MHz radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) [Molecular Mechanism of Malignant Transformation of Balb/c-3T3 Cells Induced by Long-Term Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation (RF-EMR).] *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(2):43. Published 2022 Jan 18. doi:10.3390/bioengineering9020043

Doel: De auteurs onderzochten RF-EMV-geïnduceerde kwaadaardige celtransformatie.
Methoden: De auteurs verdeelden Balb/c-3T3 cellen in sham- en expo-groepen. De expo-groepen werden blootgesteld aan een 1800 MHz RF continue golf voor een periode van 40 of 60 dagen, gedurende 4 uur per dag. De sham-groep werd blootgesteld aan sham-blootstelling. De cellen werden geoogst voor een celtransformatie-test, transplantatie in ernstig gecombineerde immuundeficiënte (SCID) muizen, detectie van zachte agar kloonvorming, en een transwell assay. De mRNA microarray assay werd gebruikt om belangrijke genen en paden te identificeren.
Resultaten: De blootgestelde Balb/c-3T3 cellen vertoonden een sterke toename in celproliferatie en migratie. Kwaadaardige transformatie werd waargenomen in expo Balb/c-3T3 cellen blootgesteld gedurende 40 dagen en 60 dagen, wat tot uiting kwam als zichtbare foci en kloonvorming. Balb/c-3T3 cellen die gedurende 40 dagen en 60 dagen werden blootgesteld

produceerden zichtbare tumoren in de SCID muizen. Lipidemetabolisme was het belangrijkste biologische proces en de betrokken pathway. De mevalonaat (MVA) pathway was de belangrijkste metaboe pathway. De interagerende miRNA's zouden verdere onderzoeksdoelwitten kunnen zijn om het moleculaire mechanisme van de carcinogene effecten van langdurige blootstelling te onderzoeken.
Conclusie: Blootstelling gedurende 40 en 60 dagen aan 1800 MHz RF-EMV induceerde maligne transformatie in Balb/c-3T3 cellen bij een stralingswaarde van 8.0 W/kg. De auteurs verklaarden dat het lipidenmetabolisme het centrale biologische proces en de belangrijkste pathway was. De MVA pathway was de belangrijkste metabole pathway.

2.2 IN VITRO STUDIES

/

(Anti-)Genotoxiciteit studies

Khodamoradi E, Afrashi S, Khoshgard K, et al. Gelijktijdig effect van gamma- en Wi-Fi-straling op gamma-H2Ax-expressie in perifeer bloed van ratten: Een nota over radioprotectie. [Simultaneous effect of gamma and Wi-Fi radiation on gamma-H2Ax expression in peripheral blood of rat: A radio-protection note.] *Biochem Biophys Rep*. 2022;30:101232. Published 2022 Feb 23. doi:10.1016/j.bbrep.2022.101232

Inleiding: Nucleaire geneeskunde patiënten worden geïsoleerd in een kamer na de injectie van een radiofarmaceutisch middel. Zij zouden kunnen worden blootgesteld aan elektromagnetische velden door de activering van de WiFi van hun smartphone of andere radiogolven in de omgeving. De hypothese van deze studie was dat de biologische effecten worden versterkt na gelijktijdige blootstelling aan gammastralen en de Wi-Fi golven. Om deze hypothese te onderzoeken werd het effect op de vorming van DNA dubbele strengbreuken in perifere bloed lymfocyten van de rat bestudeerd.

Materialen en methoden: Vijftig mannelijke Wistar ratten werden gedurende 2, 24, en 72 uur blootgesteld aan alleen Wi-Fi, 99m Tc, en gelijktijdig aan Wi-Fi en 99m Tc. De vermogensdichtheid van de Wi-Fi emitter op 15 cm was 4.2nW/ cm2. Een dosis van 100 µCi van 99m Tc werd intraperitoneaal geïnjecteerd. Bloedstalen werden genomen door hartpunctie na algemene anesthesie. Mononucleaire cellen werden geëxtraheerd door middel van Ficoll-Hypaque dichtheidsgradiëntcentrifugatie. Het aantal gamma-H2AX foci per kern werd geteld door flowcytometrie. De statistische verschillen tussen de experimentele groepen op 2, 24, en 72 u werden bepaald met een repeated measure's analysis of variance. Om na te gaan of er een significante verschil was tussen groepen op hetzelfde tijdstip werden de gegevens geanalyseerd met de Kruskal-Wallis Test.

Resultaten: De gamma-H2AX expressie was niet hetzelfde in de drie groepen in functie van de tijd. Er was een significant verschil in het aantal gamma-H2AX foci tussen de drie groepen na 72 uur.

Conclusie: Gelijktijdige blootstelling aan Wi-Fi en gammastraling kan het aantal dubbelstrengs DNA-breuken in perifere bloedlymfocyten verhogen bij blootstelling aan gammastraling tot 72 uur na technetium injectie bij de rat.

3 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

3.1 IN VIVO STUDIES

Singh, Kumari Vandana et al. Effecten van elektromagnetische straling van mobiele telefoons op het proteoom van de hippocampus van ratten. ["Effects of mobile phone electromagnetic radiation on rat hippocampus proteome."] Environmental toxicology, 10.1002/tox.23447. 5 Jan. 2022, doi:10.1002/tox.23447

Wereldwijd is het aantal gebruikers van mobiele telefoons gestegen van 5,57 miljard in 2011 tot 6,8 miljard in 2019. Echter, de korte- en lange-termijn impact van de elektromagnetische straling van mobiele telefoons op de samenstelling van het proteoom van de hersenen moet verder onderzocht worden. In deze studie probeerden de auteurs een globale proteoom profilering te bestuderen van de rat hippocampus die gedurende 20 weken werd blootgesteld aan straling afkomstig van een mobiele telefoon (gedurende 3 uur per dag gedurende 5 dagen per week) om gedereguleerde eiwitten te identificeren. De auteurs gebruiken western blot analyse voor validatie. Het resultaat was dat de auteurs 358 hippocampuseiwitten identificeerden, waarvan er 16 gedereguleerd waren (log2 (blootgesteld/sham) ≥ ±1.0, p-waarde <0.05). De meeste van deze gedereguleerde proteïnen werden gegroepeerd in drie clusters die gelijkaardige moleculaire routes delen. Een set van vier eiwitten (Succinate-semialdehyde dehydrogenase: Aldh5a1, Na+ K+ transporting ATPase: Atp1b2, plasmamembraan calciumtransporterend ATPase: PMCA en proteïne S100B) die elke functionele route vertegenwoordigen, werden geselecteerd voor validatie. Western blot analyse van deze eiwitten, in een onafhankelijke set van stalen, bevestigde de massaspectrometrische bevindingen. Aldh5a1 is betrokken bij het cellulaire energiemetabolisme, zowel Atp1b2 als PMCA zijn verantwoordelijk voor membraantransport en proteïne S100B heeft een neuroprotectieve rol. De auteurs concluderen op basis van deze resultaten dat het proteoom van de hippocampus ontregeld wordt bij blootstelling aan gsm-straling, wat de gezonde werking van de hersenen zou kunnen beïnvloeden.

Hasan I, Rubayet Jahan M, Nabiul Islam M, Rafiqul Islam M. Effect van blootstelling aan 2400 MHz mobiele telefoonstraling op het gedrag en de morfologie van de hippocampus in het Zwitserse muismodel. [Effect of 2400 MHz mobile phone radiation exposure on the behavior and hippocampus morphology in Swiss mouse model.] *Saudi J Biol Sci*. 2022;29(1):102-110. doi:10.1016/j.sjbs.2021.08.063

Blootstelling van het zenuwstelsel aan elektromagnetische velden kan neurologische veranderingen veroorzaken. In de meeste voorgaande studies werden de effecten van extreem laagfrequente elektromagnetische velden, zoals tweede-generatie en derde-generatie straling, bestudeerd (**Opmerking**: de auteurs omschrijven 2G en 3G als extreem laagfrequente elektromagnetische velden. Dit is echter onjuist, aangezien ELF alleen de frequentie van 0-3000 Hz omvat. 2G en 3G vallen binnen het frequentiebereik van radiofrequenties).
De huidige studie had tot doel om de impact van straling van de vierde generatie mobiele telefoons op de morfologie van de hippocampus en het gedrag te onderzoeken bij muizen. Zwitserse albino mannelijke muizen (n = 30) werden willekeurig ingedeeld in 3 groepen; controle,

40 min, en 60 min blootstelling aan 2400 MHz radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV), dagelijks gedurende 60 dagen. De controlemuizen werden in dezelfde omgeving gehuisvest, maar werden niet aan straling blootgesteld. Angstig gedrag werd getest met de verhoogde plus-maze. De hersenen werden verwijderd uit de schedelholte voor histologisch en stereologisch onderzoek. Op met Cresyl violet gekleurde plakjes van de hersenen werd het aantal piramidale neuronen in de cornu ammonis van de hippocampus geteld. Bij blootgestelde muizen werd in vergelijking met controlemuizen een aanzienlijke toename van angstig gedrag waargenomen. Histologische observaties toonden veel zwarte en donkerblauwe cytoplasmatische cellen met gekrompen morfologie degeneratieve veranderingen in de neuronale hippocampus bij de aan straling blootgestelde muizen. In de RF-EMV muizenhippocampus toonden stereologische analyses een significante afname van piramidale en granule neuronen in vergelijking met controles. De bevindingen van de auteurs suggereren dat de 2400-MHz RF-EMV van mobiele telefoons de structurele integriteit van de hippocampus aantast, wat zou kunnen leiden tot gedragsveranderingen zoals angst. Op basis hiervan waarschuwen de auteurs voor de mogelijke schadelijke effecten op lange termijn van blootstelling aan RF-EMV.

Yang H, Zhang Y, Wu X, et al. Effecten van acute blootstelling aan 3500 MHz (5G) radiofrequente elektromagnetische straling op angstig gedrag en de auditieve cortex bij cavia's. [Effects of Acute Exposure to 3500 MHz (5G) Radiofrequency Electromagnetic Radiation on Anxiety-Like Behavior and the Auditory Cortex in Guinea Pigs.] *Bioelectromagnetics*. 2022;43(2):106-118. doi:10.1002/bem.22388

Talrijke studies hebben aangetoond dat radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) een negatieve invloed kunnen hebben op de menselijke gezondheid. De auteurs onderzochten het effect van 3500 MHz RF-EMV op angstig gedrag en de auditieve cortex (ACx) bij cavia's. Veertig mannelijke cavia's werden willekeurig verdeeld in vier groepen en blootgesteld aan een continue golf van 3500 MHz RF-EMV bij een gemiddelde stralingswaarde van 0, 2, 4, of 10 W/kg gedurende 72 uur. Na blootstelling werden malondialdehyde (MDA) niveaus, antioxidant enzymactiviteit, angstig gedrag, gehoordrempels, cel ultrastructuur, en apoptose gedetecteerd. De resultaten van de auteurs toonden aan dat de gehoordrempels en de basisindexen van het gedrag van de dieren niet significant veranderden na blootstelling ($P > 0,05$). De MDA niveaus van ACx waren echter verhoogd ($P < 0,05$), en catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), en glutathion peroxidase (GSH-px) activiteiten waren verlaagd ($P < 0,05$) in de blootstellingsgroepen vergeleken met de sham groep. Ultrastructurele veranderingen van ACx, waaronder gezwollen mitochondriën en gelaagde myelinescheden, werden waargenomen. Herlokalisatie van cytochroom-c, activering van caspase-9 en gekloofde caspase-3 werden waargenomen in de blootstellingsgroepen. De auteurs concluderen op basis van deze resultaten dat oxidatieve stress mogelijk een belangrijk mechanisme is dat aan de basis ligt van de biologische effecten van RF-EMV, die ultrastructurele schade aan de ACx en apoptose kan induceren via een mitochondrie-afhankelijk mechanisme. Bovendien nemen de oxidatieve stress, de inductie van apoptose en de ultrastructurele schade toe op een stralingswaarde-afhankelijke manier. RF-EMV verhoogt echter de gehoordrempel niet en induceert geen angst.

Wardzinski EK, Jauch-Chara K, Haars S, Melchert UH, Scholand-Engler HG, Oltmanns KM. Straling van mobiele telefoons verstoort energie-homeostase in hersenen en leidt tot voedselinname bij mensen. [Mobile Phone Radiation Deflects Brain Energy Homeostasis and Prompts Human Food Ingestion.] *Nutrients*. 2022;14(2):339. Published 2022 Jan 14. doi:10.3390/nu14020339

Obesitas en het gebruik van mobiele telefoons hebben zich gelijktijdig wereldwijd verspreid. Radiofrequentie-gemoduleerde elektromagnetische velden (RF-EMVs) uitgezonden door mobiele

telefoons worden grotendeels geabsorbeerd door het hoofd van de gebruiker. Daar beïnvloeden ze het cerebrale glucosemetabolisme, en moduleren de neuronale prikkelbaarheid. Aanpassing van het lichaamsgewicht is op zijn beurt een van de belangrijkste hersenfuncties, aangezien het voedselinname gedrag en de perceptie van de eetlust aan de basis liggen van de regulatie van de hypothalamus. Met deze informatie in het achterhoofd vroegen de auteurs zich af of gsm-straling en voedselinname met elkaar in verband staan. In een geblindeerd, sham-gecontroleerde, gerandomiseerde cross-over studie werden 15 jonge mannen met normaal gewicht (23,47 ± 0,68 jaar) onder 'vasten'-omstandigheden blootgesteld aan 25 min RF-EMV's, uitgezonden door twee verschillende types mobiele telefoons, of sham-straling. Spontane voedselinname werd beoordeeld door een ad libitum standaard buffet test en cerebrale energiehomeostase werd gecontroleerd door 31 fosfor-magnetische resonantie spectroscopie metingen. Blootstelling aan beide mobiele telefoons verhoogde de totale calorie-inname opvallend met 22-27% in vergelijking met de sham-conditie. Differentiële analyses van de inname van macronutriënten toonden aan dat de hogere calorie-inname voornamelijk te wijten was aan een verhoogde inname van koolhydraten. Metingen van de cerebrale energie-inhoud, d.w.z., adenosine trifosfaat en fosfocreatine ratio's tot anorganisch fosfaat, toonden een toename aan bij blootstelling aan gsm-straling. De resultaten van de auteurs wijzen RF-EMV's aan als een potentiële factor die bijdraagt tot overeten, dat aan de basis ligt van de obesitasepidemie. Daarnaast kunnen de waargenomen RF-EMV's-geïnduceerde veranderingen van de energiehomeostase in de hersenen helpen om de gegevens van de auteurs in een bredere context plaatsen, aangezien een evenwichtige energiehomeostase in de hersenen van fundamenteel belang is voor alle hersenfuncties. Mogelijke verstoringen door elektromagnetische velden kunnen daarom een aantal algemene neurobiologische effecten uitoefenen waarmee momenteel nog geen rekening werd gehouden.

Souffi S, Lameth J, Gaucher Q, et al. Blootstelling aan 1800 MHz LTE elektromagnetische velden onder ontstekingsbevorderende omstandigheden verlaagt de responssterkte en verhoogt de akoestische drempel van auditieve corticale neuronen [Exposure to 1800 MHz LTE electromagnetic fields under proinflammatory conditions decreases the response strength and increases the acoustic threshold of auditory cortical neurons.] *Sci Rep*. 2022;12(1):4063. Published 2022 Mar 8. doi:10.1038/s41598-022-07923-9

De toegenomen behoefte aan communicatie via mobiele telefoons heeft geleid tot opeenvolgende generaties (G) van draadloze technologieën, die biologische systemen verschillend zouden kunnen beïnvloeden. Om dit te testen, stelden de auteurs ratten enkel aan het hoofd bloot aan een 4G lange-termijn evolutie (LTE)-1800 MHz elektromagnetisch veld (EMV) gedurende 2 uur. De auteurs evalueerden vervolgens de impact op microgliale ruimtebedekking en elektrofysiologische neuronale activiteit in de primaire auditieve cortex (ACx), onder condities van acute neuroinflammatie geïnduceerd door lipopolysaccharide. De gemiddelde stralingswaarde in de ACx was 0,5 W/kg. Multi-unit opnames toonden aan dat LTE-EMV een vermindering teweegbrachten in de responssterkte op zuivere tonen en op natuurlijke vocalisaties, samen met een verhoging van de akoestische drempel in de lage en midden frequenties. Iba1 immunohistochemie toonde geen verandering aan in het gebied bedekt door microglia cellichamen en processen. Bij gezonde ratten veroorzaakte dezelfde LTE-blootstelling geen verandering in de responssterkte en de akoestische drempel. De gegevens van de auteurs wijzen erop dat acute neuro-inflammatie neuronale reacties op LTE-EMV sensibiliseert, wat leidt tot een veranderde verwerking van akoestische stimuli in de ACx.

3.2 IN VITRO STUDIES

Echchgadda I, Cantu JC, Tolstykh GP, Butterworth JW, Payne JA, Ibey BL. Veranderingen in de prikkelbaarheid van primaire hippocampale neuronen na blootstelling aan 3,0 GHz radiofrequente elektromagnetische velden. [Changes in the excitability of primary hippocampal neurons following exposure to 3.0 GHz radiofrequency electromagnetic fields.] *Sci Rep*. 2022;12(1):3506. Published 2022 Mar 3. doi:10.1038/s41598-022-06914-0
Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMVs, 100 kHz tot 6 GHz) werd in verband gebracht met zowel positieve als negatieve effecten op cognitief gedrag. Om het mechanisme van de RF-EMV interactie op te helderen, hebben enkele studies de invloed ervan op neuronale activiteit en synaptische plasticiteit onderzocht. Er is echter nog steeds nood aan bijkomend fundamenteel onderzoek om meer inzicht te krijgen in de onderliggende mechanismen van RF-EMVs op het neuronale systeem. De huidige studie onderzocht veranderingen in neuronale activiteit en synaptische transmissie na een blootstelling van 60 minuten aan 3.0 GHz RF-EMV bij een lage dosis (stralingswaarde < 1 W/kg). De auteurs toonden aan dat blootstelling aan RF-EMV de amplitude van actiepotentialen (AP) verminderde, de neuronale rustmembraanpotentiaal (MP) depolariseerde, en de neuronale exciteerbaarheid en synaptische transmissie verhoogde in gekweekte primaire hippocampale neuronen (PHNs). De resultaten tonen aan dat blootstelling aan RF-EMV de neuronale activiteit kan veranderen en benadrukken dat meer onderzoek moet worden verricht om de RF-EMV effecten en mechanismen volledig te onderzoeken.

4 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

4.1 IN VIVO STUDIES

/

4.2 IN VITRO STUDIES

/

5 ANDERE EFFECTEN

5.1 IN VIVO STUDIES

Kim HM, Oh S, Byun KA, et al. Radiofrequente bestraling vermindert UV-B-geïnduceerde huidpigmentatie door toename van lymfangiogenese [Radiofrequency Irradiation Mitigated UV-B-Induced Skin Pigmentation by Increasing Lymphangiogenesis.] *Molecules*. 2022;27(2):454. Published 2022 Jan 11. doi:10.3390/molecules27020454
Huidmacrofagen die melanine bevatten, verhogen de pigmentatie van de huid aangezien de verwijdering van dermale melanine trager verloopt dan de verwijdering van epidermale melanine. Lymfevaten zijn ook betrokken bij de verwijdering van melanine. De auteurs onderzochten in een

aan UV-B blootgesteld diermodel of radiofrequente (RF) bestraling een toename van HSP90 induceerde, wat lymfangiogenese bevordert door de BRAF/MEK/ERK pathway te activeren en de tyrosinase activiteit te verminderen. De HSP90/BRAF/MEK/ERK route werd gestimuleerd door RF. Tyrosinase activiteit en de VEGF-C/VEGFR 3/PI3K/pAKT1/2/pERK1/2 pathway, die lymfangiogenese bevorderen, evenals de expressie van de lymfatische endotheliale merker LYVE-1, werden verhoogd door RF. Bovendien verminderde RF het aantal melaninehoudende huidmacrofagen, het melaninegehalte in de lymfeklieren en de melanineafzetting in de huid. De auteurs concludeerden op basis van deze resultaten dat RF de expressie van HSP90/BRAF/MEK/ERK verhoogde, waardoor de tyrosinase activiteit afnam en de lymfangiogenese toenam. Dit resulteerde uiteindelijk in een verhoogde opruiming van melanine-bevattende macrofagen in de huid waardoor de pigmentatie van de huid afnam.

5.2 IN VITRO STUDIES

Joushomme A, Garenne A, Dufossée M, et al. Label-vrije studie naar het globale celgedrag tijdens blootstelling aan radiofrequente velden uit de omgeving in de aan- of afwezigheid van pro-apoptotische of pro-autofagische behandelingen. [Label-Free Study of the Global Cell Behavior during Exposure to Environmental Radiofrequency Fields in the Presence or Absence of Pro-Apoptotic or Pro-Autophagic Treatments.] *Int J Mol Sci*. 2022;23(2):658. Published 2022 Jan 8. doi:10.3390/ijms23020658

Het blijft controversieel of blootstelling aan radiofrequente signalen uit de omgeving (RF) de celstatus of de respons op cellulaire stress zoals apoptose of autofagie beïnvloedt. De auteurs gebruikten twee labelvrije technieken, cellulaire impedantiemetrie en Digitale Holografische Microscopie (DHM), om de algemene cellulaire respons te beoordelen tijdens blootstelling aan RF alleen, of tijdens gelijktijdige blootstelling aan RF en chemische stoffen waarvan bekend is dat ze ofwel apoptose ofwel autofagie induceren. Twee menselijke cellijnen (SH-SY5Y en HCT116) en twee culturen van primaire cortexcellen van de rat (astrocyten en co-cultuur van neuronen en gliacellen) werden blootgesteld aan RF met een draaggolf van 1800 MHz, gemoduleerd met verschillende omgevingssignalen (GSM: Global System for Mobile Communications, 2G-signaal), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 3G-signaal), LTE (Long-Term Evolution, 4G-signaal, en Wi-Fi) of ongemoduleerd RF (continue golf, CW). De stralingswaarden die werden gebruikt bedroegen 1,5 en 6 W/kg tijdens DHM-experimenten en varieerden van 5 tot 24 W/kg tijdens de registratie van cellulaire impedantie. De cellen werden continu blootgesteld gedurende drie tot vijf opeenvolgende dagen, terwijl de temporele fenotypische signatuur van het celgedrag werd geregistreerd bij constante temperatuur. Statistische analyse van de resultaten wijst niet uit dat RF-EMV-blootstelling het globale gedrag van gezonde, apoptotische of autofagische cellen beïnvloedde, zelfs bij stralingswaardes die hoger lagen dan de richtlijnen, op voorwaarde dat de temperatuur constant werd gehouden.

Pooam M, Jourdan N, Aguida B, et al. Blootstelling aan een 1.8 GHz radiofrequent veld moduleert ROS in menselijke HEK293 cellen als een functie van de signaalamplitude. [Exposure to 1.8 GHz radiofrequency field modulates ROS in human HEK293 cells as a function of signal amplitude.] *Commun Integr Biol*. 2022;15(1):54-66. Published 2022 Feb 3. doi:10.1080/19420889.2022.2027698

De moderne telecommunicatie-industrie is alomtegenwoordig in de wereld en een aanzienlijk percentage van de bevolking maakt dagelijks gebruik van mobiele telefoons. Het is daarom

belangrijk om de mogelijke fysiologische gevolgen van draadloze emissies in het GHz-bereik te bestuderen. De auteurs van de huidige studie tonen aan dat blootstelling aan een draaggolffrequentie van 1,8 GHz in het amplitudebereik van dagdagelijkse telecommunicatie de vorming van ROS (reactieve zuurstofverbindingen) in gecultiveerde cellen van humane oorsprong (HEK293) induceert. De ROS concentraties gedetecteerd door fluorescente beeldvormingstechnieken namen significant toe na 15 minuten blootstelling aan RF velden, en werden gelokaliseerd in zowel nucleaire als cytosolische celcompartimenten. qPCR analyse toonde veranderingen in genexpressie aan zowel van anti-oxidatieve (SOD, GPX, en CAT) als oxidatieve (Nox-2) enzymen. Bovendien bleken meerdere genen die eerder waren geïdentificeerd als responsief voor statische magnetische velden ook te worden gereguleerd door RF, wat wijst op gemeenschappelijke kenmerken in responsmechanismen. Daarentegen vertoonden veel RF-effecten tekenen van hormese, waarbij biologische responsiviteit niet lineair verloopt als functie van de signaalamplitude. In plaats daarvan treden er bifasische dosis-respons curves op met "blinde" vlekken bij bepaalde signaalamplituden waar geen meetbare respons optreedt. De auteurs concluderen dat modulatie van intracellulaire ROS een direct gevolg kan zijn van RF-blootstelling, afhankelijk van signaalfrequentie en amplitude. Aangezien veranderingen in intracellulaire ROS zowel schadelijke als gunstige effecten kunnen hebben, zouden deze de basis kunnen vormen voor veel gerapporteerde fysiologische effecten van RF-blootstelling.

6 PROTOCOLLEN

Bosch-Capblanch X, Esu E, Dongus S, et al. De effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op zelfgerapporteerde symptomen bij de mens: Een protocol voor een systematische review van experimentele studies bij mensen. [The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A protocol for a systematic review of human experimental studies.] Environ Int. 2022;158:106953. doi:10.1016/j.envint.2021.106953

Achtergrond: De technologische toepassingen van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) zijn sinds de jaren vijftig gestaag toegenomen in verschillende sectoren waardoor grote delen van de bevolking worden blootgesteld. Dit feit heeft geleid tot bezorgdheid over de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van de mens. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) beoordeelt de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan RF-EMV en heeft een internationale enquête onder deskundigen uitgevoerd. Hierbij werden zes prioritaire onderwerpen vastgesteld die verder moeten worden behandeld door middel van systematische literatuurstudies waarvan de effecten op de symptomen er één is. De auteurs beschrijven in dit artikel het protocol voor een systematisch review van experimentele studies bij mensen waarin de effecten van RF-EM op symptomen worden beoordeeld.

Doel: De auteurs willen de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden (in vergelijking met geen of lagere blootstellingsniveaus) op symptomen bij menselijke proefpersonen beoordelen. De auteurs zullen ook de nauwkeurigheid van de perceptie van de aanwezigheid van blootstelling beoordelen bij vrijwilligers met en zonder idiopathische omgevingsintolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden (IEI-EMV).

Criteria om in aanmerking te komen: De auteurs zullen relevante literatuurbronnen (bijv. Web of Science, Medline, Embase, Epistemonikos) doorzoeken voor gerandomiseerde studies (die ten minste twee armen vergelijken) en gerandomiseerde cross-over trials waarbij de effecten van RF-EMV blootstelling op symptomen werden beoordeeld. De auteurs zullen ook studies opnemen die de nauwkeurigheid hebben gemeten van de perceptie van de aan- of afwezigheid van blootstelling. De auteurs zullen studies in om het even welke taal opnemen.

Beoordeling en synthese van de studies: Studies zullen door twee onafhankelijke beoordelaars worden getoetst aan de inclusiecriteria. Gegevens over studiekarakteristieken, deelnemers, blootstelling, vergelijkingsmateriaal en effecten zullen door twee onafhankelijke beoordelaars worden geëxtraheerd met behulp van een specifiek template. Discrepanties zullen bij consensus worden opgelost. Risk of Bias (ROB) zal worden beoordeeld met behulp van de ROB Rating Tool for Human and Animal Studies en het niveau van vertrouwen in het bewijs van de blootstelling-uitkomstrelaties zal worden beoordeeld met behulp van de GRADE-benadering. Voor de perceptiestudies zullen de auteurs aangepaste versies van de ROB-tool en de GRADE-beoordeling gebruiken. Waar nodig zullen de gegevens worden gecombineerd met behulp van meta-analytische technieken.

Kenny RPW, Millar EB, Adesanya A, et al. De effecten van radiofrequente blootstelling op de mannelijke vruchtbaarheid en nadelige reproductieve uitkomsten: Een protocol voor twee systematische reviews van menselijke observationele studies met meta-analyse. [The effects of radiofrequency exposure on male fertility and adverse reproductive outcomes: A protocol for two systematic reviews of human observational studies with meta-analysis.] Environ Int. 2022;158:106968. doi:10.1016/j.envint.2021.106968

Achtergrond: De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) verzamelt gegevens over de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) in relatie tot gezondheidseffecten die eerder door deskundigen in het domein als prioriteiten voor verder onderzoek werden aangeduid om richtlijnen voor blootstelling op te stellen. Een reeks systematische reviews wordt uitgevoerd door een netwerk van deskundigen om gegevens die relevant zijn voor deze richtlijnen te verzamelen, te beoordelen en te synthetiseren. In dit artikel presenteren de auteurs het protocol voor het systematisch onderzoek naar mogelijke nadelige effecten van blootstelling aan RF op de voortplanting (menselijke observationele studies), ook wel aangeduid als Systematic Review (SR) 3 binnen de reeks systematische onderzoeken waartoe momenteel opdracht wordt gegeven.

Doelstellingen: In navolging van het WHO handboek voor richtlijnontwikkeling en de COSTER gedragsrichtlijnen, zullen de auteurs systematisch het effect van blootstelling aan RF-EMV op zowel de mannelijke vruchtbaarheid (SR3A) als nadelige zwangerschapsuitkomsten (SR3B) in menselijke observationele studies onderzoeken. Hierbij houden de auteurs zich aan de PRISMA-P rapportage richtlijnen.

Gegevensbronnen: De auteurs zullen een brede zoekactie uitvoeren naar mogelijk publicaties die relevant zijn voor beide reviews binnen de volgende bibliografische databanken: MEDLINE; Embase; en EMF Portal. De auteurs zullen ook zoeken in de 'grijze literatuur' via relevante databanken en websites van bepaalde organisaties. RF-EMV deskundigen zullen ook worden geraadpleegd. De auteurs zullen de citatie- en referentielijsten van de opgenomen studies met de hand doorzoeken.

Criteria voor het in aanmerking komen van studies: De auteurs zullen kwantitatieve humane observationele studies naar het effect van RF-EMV blootstelling (in SR3A) bij volwassen mannelijke

deelnemers op onvruchtbaarheid, morfologie, concentratie/totaal aantal en/of beweeglijkheid van zaadcellen; en (in SR3B) bij volwassenen voor de bevruchting. Bij zwangere vrouwen werd gekeken naar effecten op vroeggeboorte, klein gestalte voor de zwangerschapsduur (geassocieerd met intra-uteriene groeibeperking), miskraam, doodgeboorte en congenitale afwijkingen.

Methodes voor de beoordeling en de synthese van de studies: Titels, samenvattingen en volledige teksten zullen in tweevoud geblindeerd worden gescreend aan de hand van de gedefinieerde criteria, indien nodig met inbreng van een derde beoordelaar. De gegevensextractie uit de geïncludeerde studies zal door twee beoordelaars worden uitgevoerd, evenals de beoordeling van het risico op bias met behulp van het OHAT-instrument (Office of Health Assessment and Translation). Indien nodig zullen de auteurs een meta-analyse uitvoeren om effectmetingen samen te voegen en heterogeniteit te onderzoeken met behulp van subgroepanalyses of meta-regressie, indien haalbaar. De auteurs zullen gevoeligheidsanalyses uitvoeren om het effect te beoordelen van alle veronderstellingen die tijdens het evaluatieproces zijn gemaakt. De OHAT-methodologie, gebaseerd op de GRADE-richtlijnen voor bewijsbeoordeling, zal worden gebruikt om de zekerheid van het bewijs per uitkomst te evalueren en om een besluit te formuleren over de beschikbare evidentie met betrekking tot een gezondheidseffect.

Conclusie: Dit manuscript beschrijft de protocollen voor twee systematische reviews. Het doel van het publiceren van de details van beide protocollen is: het vooraf specificeren van de reikwijdte en gehanteerde methoden; het verminderen van de invloed van bias bij beoordelaars; het bevorderen van transparantie en repliceerbaarheid; en het verbeteren van het beoordelingsproces.

Henschenmacher B, Bitsch A, de Las Heras Gala T, et al. Het effect van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op biomerkers van oxidatieve stress in vivo en in vitro: Een protocol voor een systematische review. [The effect of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: A protocol for a systematic review.] Environ Int. 2022;158:106932. doi:10.1016/j.envint.2021.106932

Achtergrond: Er wordt verondersteld dat oxidatieve stress verband houdt met vele ziekten. Bovendien werd de hypothese geformuleerd dat radiofrequente velden oxidatieve stress kunnen induceren in verschillende celtypes en daardoor de gezondheid van mens en dier in gevaar kunnen brengen. Deze systematische review (SR) heeft tot doel de literatuur in verband met deze hypothese samen te vatten en te evalueren.

Doelstellingen: Het hoofddoel van deze SR is het evalueren van de associaties tussen de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en oxidatieve stress in experimentele modellen (in vivo en in vitro).

Methoden: Het SR-kader is ontwikkeld volgens de richtlijnen die zijn vastgesteld in het WHO 'Handbook for Guideline Development' en het 'Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment'. De auteurs zullen gecontroleerde in vivo en in vitro laboratoriumstudies selecteren waarin de effecten van blootstelling aan RF-EMV op relevante merkers voor oxidatieve stress worden beoordeeld in vergelijking met geen of sham-blootstelling. Het protocol is geregistreerd in PROSPERO. De auteurs zullen in de volgende databanken zoeken: PubMed, Embase, Web of Science Core Collection, Scopus, en EMF-Portal. De referentielijsten van de geïncludeerde studies en de verzamelde overzichtsartikelen zullen ook handmatig worden doorzocht.

Beoordeling en synthese van de studies: Gegevens zullen worden geëxtraheerd volgens een vooraf bepaalde set formulieren ontwikkeld in de DistillerSR online software en gesynthetiseerd in een meta-analyse wanneer studies voldoende vergelijkbaar worden geacht om te worden gecombineerd. Als een meta-analyse niet mogelijk is, zullen de auteurs de effecten van de blootstelling op een narratieve manier beschrijven.

Risico op vertekening: Het risico op bias zal worden beoordeeld met de 'NTP/OHAT risk of bias rating tool' voor humane en dierlijke studies. De auteurs zullen GRADE gebruiken om de betrouwbaarheid van de conclusies (hoog, matig, laag, of onvoldoende) met betrekking tot het verband tussen radiofrequente elektromagnetische velden en oxidatieve stress te beoordelen.

Financiering: Dit werk werd gefinancierd door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).

Registratie: Het protocol werd geregistreerd op de PROSPERO webpagina op 8 juli 2021.

Mevissen M, Ward JM, Kopp-Schneider A, et al. Effecten van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op kanker in proefdierstudies. [Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies.] Environ Int. 2022;161:107106. doi:10.1016/j.envint.2022.107106

Achtergrond: De carcinogeniteit van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) werd in 2011 beoordeeld door het Internationaal Instituut voor Kankeronderzoek (IARC). Op basis van beperkt bewijs voor carcinogeniteit bij mensen en dieren werden RF-EMV ingedeeld als mogelijk carcinogeen voor mensen (groep 2B). In 2018 heeft de WHO op basis van een enquête onder RF-deskundigen zes prioritaire onderwerpen met betrekking tot mogelijke RF-EMV-gerelateerde gezondheidseffecten bij de mens geselecteerd voor systematische reviews. In het huidige artikel bespreken de auteurs het protocol voor de systematische review van experimentele proefdierstudies (kanker bioassays) met betrekking tot blootstelling aan RF velden en het voorkomen van kanker bij proefdieren.

Doelstelling: Het onderzoek kadert binnen het stralingsprogramma van de WHO en heeft als doel om systematisch effecten van blootstelling aan RF-EMV's op kanker bij laboratoriumdieren te evalueren.

Geschiktheid van de studie en criteria: Het Handboek (2014) van de WHO voor richtlijnontwikkeling zal met de nodige aanpassingen worden gevolgd. De selectie van in aanmerking komende studies zal worden gebaseerd op Populatie, Blootstelling, Vergelijking, Uitkomst (PECO) criteria. De auteurs zullen studies met peer review en openbaar beschikbare rapporten van overheidsinstanties verzamelen die originele gegevens over dierlijke kanker bioassays op blootstelling aan RF-EMV rapporteren. De studies worden geïdentificeerd door te zoeken in de volgende databanken: MEDLINE (PubMed), Science Citation Index Expanded en Emerging Sources Citation Indes (Web of Science), Scopus, en het EMF Portal. Er worden geen taal- of publicatiejaarbeperkingen toegepast. De methoden en resultaten van in aanmerking komende studies zullen worden gepresenteerd volgens de PRISMA 2020-richtlijnen.

Methode voor de beoordeling van studies: De evaluatie van individuele studies zal worden beoordeeld met behulp van een risk of bias (RoB) tool ontwikkeld door het Office of Health Assessment and Translation (OHAT) met relevante overwegingen, waaronder gevoeligheid voor het evalueren van RF-EMV blootstelling in dierlijke kanker bioassays. De uiteindelijke beoordeling van de zekerheid van het bewijs voor een carcinogeen risico van blootstelling aan RF-EMV bij proefdieren zal worden uitgevoerd aan de hand van de OHAT Grading of Recommendations

Assessment, Development and Evaluation (GRADE) benadering met geschikte overwegingen. Het protocol is geregistreerd in een open-source repository (PROSPERO).
Financiering: De studie wordt gedeeltelijk gefinancierd door de Wereldgezondheidsorganisatie. Er werd geen bijkomende financiering verstrekt buiten de salarissen van de auteurs door hun werkgevers.

Pinto R, Ardoino L, Giardullo P, Villani P, Marino C. Protocol voor een systematische review van de in vivo studies over blootstelling aan radiofrequente (100 kHz-300 GHz) elektromagnetische velden en kanker. [Protocol for a systematic review of the in vivo studies on radiofrequency (100 kHz-300 GHz) electromagnetic field exposure and cancer.] Syst Rev. 2022;11(1):29. Published 2022 Feb 16. doi:10.1186/s13643-022-01898-4

Achtergrond: Een Italiaans project heeft tot doel de wetenschappelijke literatuur over de mogelijke carcinogeniteit van blootstelling aan radiofrequente (100 kHz-300 GHz) elektromagnetische velden (RF-EMV) te bestuderen. Het ENEA-team moet een systematisch overzicht maken van de in vivo studies over dit onderwerp.

Doelstellingen: Ontwikkeling van een protocol voor een systematisch overzicht (inclusief meta-analyse) om het potentiële carcinogene risico te onderzoeken na blootstelling aan RF-EMV in vivo aan doses boven of binnen de wettelijke grenzen. De doelstellingen van dit onderzoek zijn (1) een beschrijvende en, zo mogelijk, een kwantitatieve samenvatting te geven van de resultaten van de onderzochte RF-EMV in vivo studies, samen met een beoordeling van de consistentie van de waarnemingen en van de oorzaken van heterogeniteit, en (2) het gewicht van het bewijsmateriaal te beoordelen om de hypothese van carcinogene effecten veroorzaakt door blootstelling aan RF-EMV te ondersteunen of te weerleggen en conclusies te trekken over de potentiële carcinogeniteit van blootstelling aan RF-EMV.

Methoden: De auteurs zullen zoeken naar relevante studies in elektronische academische databanken en in de referentielijst van geselecteerde papers en reviews over het onderwerp, inclusief de beschrijvende reviews over het mogelijke RF-EMV carcinogeen effect die sinds 2011 zijn uitgevoerd door internationale panels van deskundigen. De volgende elementen van de PECO-vraag werden gedefinieerd: experimentele studies over knaagdieren van beide geslachten, alle leeftijden en soorten, alle genetische achtergronden (Populatie) blootgesteld aan RF-EMV alleen, of in combinatie met andere fysische of chemische agentia (Blootstelling); alleen studies die resultaten rapporteren in blootgestelde en sham-controlegroepen (Vergelijking); en alle soorten kanker met alle tumorgerelateerde uitkomsten (Uitkomst) zullen worden opgenomen. Alleen peer-reviewed artikels geschreven in het Engels zullen worden overwogen zonder beperking in de publicatiedatum. Er werden ontvankelijkheidscriteria gedefinieerd voor de op te nemen artikels. Een beoordeling van het risico op bias zal worden uitgevoerd met behulp van een speciaal voor dierstudies ontwikkeld instrument. Een meta-analyse zal worden uitgevoerd, indien haalbaar, voor alle uitkomsten; voor subgroepanalyse zullen minimaal 3 studies per subgroep vereist zijn. Indien een meta-analyse niet mogelijk is, zal een narratieve synthese van de resultaten worden gerapporteerd.

Registratie systematische review: PROSPERO CRD42020191105 HOOGTEPUNTEN: Een Italiaanse samenwerkingsovereenkomst voor onderzoek heeft tot doel de wetenschappelijke literatuur over de mogelijke carcinogeniteit van RF-EMV (100 kHz - 300 GHz) te bestuderen. Het ENEA-team zal de effecten van in vivo blootstelling aan RF-EMV op kanker systematisch onderzoeken en zo mogelijk meta-analyses verrichten. De ENEA-groep is een multidisciplinair team van onderzoekers met een geconsolideerde ervaring op het gebied van zowel carcinogeniteitsexperimenten als het evalueren van radiofrequente dosimetrie. Het voorgestelde protocol gebruikt de OHAT-benadering van het

NTP voor systematische review als ordenend kader. Het voorgestelde protocol beoogt te leiden tot de eerste systematische review die een beoordeling van de evidentie over dit onderwerp geeft.

ALGEMENE OPMERKINGEN

Dit verslag bestaat uit elf experimentele studies en twee overzichtsartikels over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV).
Bovendien zijn ook verscheidene manuscripten opgenomen waarin het protocol wordt beschreven voor het uitvoeren van systematische reviews om het verband tussen RF-EMV en verschillende nadelige gezondheidseffecten te onderzoeken. Zoals vermeld in de vorige verslagen, heeft de WHO onlangs een oproep gedaan voor systematische reviews met meta-analyse over het effect van RF-EMV-blootstelling op verschillende eindpunten van de menselijke gezondheid. De teams die aan deze grootschalige literatuuronderzoeken deelnemen, moeten hun protocol vóór de eigenlijke publicatie bekendmaken, zodat hun methodologie door de wetenschappelijke gemeenschap kan worden geëvalueerd. Meer specifiek zullen Bosch-Capblanch et al. een review schrijven over zelfgerapporteerde menselijke symptomen als gevolg van waargenomen blootstelling aan RF-EMV, terwijl Kenny RPW et al. het mogelijke verband tussen ongunstige effecten op de voortplanting en onvruchtbaarheid bij mannen en blootstelling aan RF-EMV zullen onderzoeken. Henschenmacher et al. zullen een overzicht geven van de beschikbare studies over blootstelling aan RF-EMV en oxidatieve stress, zowel in vivo als in vitro. Tot slot zullen Mevissen et al. zullen zich richten op studies naar de gevolgen van blootstelling aan RF-EMV en de ontwikkeling van kanker bij proefdieren. De resultaten van de WHO-evaluaties zouden in de komende jaren beschikbaar moeten zijn. Er werd ook een ander protocol gevonden voor een systematische review naar het verband tussen RF-EMV en kanker door Pinto et al. Dit systematisch onderzoek niet zal worden uitgevoerd in het kader van het WHO-programma.
In het overzicht van Hinrikus e.a. werd de nadruk gelegd op menselijke experimentele studies over eindpunten zoals elektro-encefalografie (EEG) in rust, slaap-EEG en slaapkwaliteit, gebeurtenis-gerelateerde potentialen (ERP's) en cognitie-gedrag en hersenmetabolisme. De auteurs concluderen dat de beschikbare wetenschappelijke gegevens geen verband aantonen tussen RF-straling en nadelige gevolgen voor de gezondheid van de menselijke hersenen. Zij benadrukken echter de noodzaak van verder hoogstaand kwalitatief onderzoek, zowel experimenteel als theoretisch, om de gezondheidseffecten in verband met 5G NR te onderzoeken, aangezien experimentele studies van hoge kwaliteit in dat frequentiegebied ontbreken, vooral in 5G NR FR2 (het hogere frequentiegebied van 5G-technologie).
Romeo et al. onderzochten de potentiële effecten van RF-EMV op apoptose om lacunes in de beschikbare wetenschappelijke kennis op dit gebied te identificeren. Zij vonden 42 studies die voldeden aan de basiskwaliteitscriteria (d.w.z. sham-controle, ten minste drie onafhankelijke experimenten, passende dosimetrie-analyse en temperatuurmonitoring) en uit hun gepoolde analyse concludeerden zij dat er een grote leemte in de kennis is als gevolg van de beperkingen in de experimentele opzet van de meeste studies. Opnieuw wordt gewezen op de noodzaak om de kwaliteit van het RF-EMV-onderzoek te verbeteren, aangezien het van cruciaal belang is om de betrouwbaarheid, robuustheid en reproduceerbaarheid van de resultaten te waarborgen. In een vervolgstudie zullen zij een kwalitatieve beoordeling maken van de papers die werden opgenomen in hun review, om meer inzicht te krijgen in de effecten.
Alle experimentele studies die in dit verslag zijn opgenomen, vertoonden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies bevatten geen of slecht uitgevoerde dosimetriemetingen (Khodamoradi et al., Kim HM et al. Pooam M et al.) of gebruikten blootstellingssystemen die niet

geschikt waren voor het beoogde doel (Khodamoradi et al., Hasan I et al., Wardzinski EK et al., Singh et al.). Voor sommige studies was het onduidelijk of de juiste sham condities werden gebruikt (Khodamoradi et al., Hasan I et al., Kim HM et al.). In een aantal studies werden ook geen correcte geblindeerde testcondities gebruikt (Khodamoradi et al., Hasan I et al., Echchgadda I. et al., Kim HM et al., Joushomme A. et al., Pooam M et al., Yang H et al., Singh et al.). Anderen gebruikten ook zeer vreemde frequenties (Kim HM et al.) of zeer hoge intensiteiten (Joushomme A. et al., Ding Z et al.), en bijgevolg is het zeer onwaarschijnlijk dat een persoon in de realiteit aan een dergelijk elektromagnetisch veld zou worden blootgesteld.
Bovendien werd de temperatuur van het staal (lichaamstemperatuur in het geval van in-vivo-onderzoeken of mediumtemperatuur in het geval van in-vitro-onderzoeken) in de meeste experimenten niet gecontroleerd (Khodamoradi et al., Hasan I et al., Wardzinski EK et al., Kim HM et al., Yang H et al., Singh et al.) en als gevolg daarvan kon geen rekening worden gehouden met mogelijke verhitting van het staal als gevolg van de RF-EMV blootstelling. Bij andere studies was het onduidelijk of de potentiële verwarmingseffecten als gevolg van de RF-blootstelling op het staal werden geëvalueerd (Souffi S. et al., Ding Z et al.). In de experimenten van Joushomme et al. werd de temperatuur constant gehouden en het belang hiervan werd door de auteurs benadrukt.
De studies van Souffi S et al., Echchgadda I et al., Joushomme A. et al. en Ding Z et al. voldeden aan de meeste van de vereiste kwaliteitscriteria. Hiervan toonden Souffi S et al. aan dat het effect van het LTE-signaal op de neuronale activiteit varieert naar gelang van de gezondheidstoestand. Volgens deze studie zou acute neuro-inflammatie neuronale reacties op LTE-1800 MHz kunnen sensibiliseren, hetgeen leidt tot een veranderde corticale verwerking van auditieve stimuli. Echchgadda et al. verstrekten niet voldoende bewijs om het niet-thermische mechanisme van de interactie tussen RF-EMV en neuronale activiteit te ondersteunen, en de auteurs blijven voorzichtig over de toepasbaarheid van hun in vitro resultaten op menselijke en dierlijke modellen. Joushomme et al. hebben in hun in vitro studie geen effecten van RF op de cellulaire respons gevonden, zelfs niet bij intensiteiten boven de normale blootstellingslimieten. Ding Z et al. tenslotte ontdekten dat blootstelling aan hoge intensiteiten van RF-EMV-straling (stralingswaarde van 8 W/Kg) een ongewenst effect induceerde op hun celcultuur. Zij implanteerden deze cellen ook in levende dieren en stelden vast dat ze een effect hadden op de vorming van tumoren. De auteurs bestudeerden de genexpressie van de cellen en ontdekten dat het mechanisme achter dit ongewenste effect te vinden is binnen het lipidenmetabolisme van de cel.
Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks in verband te brengen met gezondheidseffecten bij de mens, aangezien de relevantie van effecten die in vitro of bij proefdieren worden waargenomen voor de mens vaak niet duidelijk is. Deze studies moeten ook onafhankelijk worden gerepliceerd om de geldigheid van de resultaten te garanderen.
Op basis van de resultaten van de in dit verslag gepresenteerde studies kunnen we geen uitspraak doen over eventuele nieuwe negatieve gezondheidsresultaten. Zoals door verschillende auteurs in dit verslag is opgemerkt, blijft het belangrijk de methodologische kwaliteit van de experimentele studies in aanmerking te nemen alvorens conclusies te trekken over gezondheidseffecten.

Overzicht van de epidemiologische en humaan-experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het tweede trimester van 2022 werden gepubliceerd.

dr. Els De Waegeneer
Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg
Universiteit Gent

1 REVIEWS EN META-ANALYSES

1.1 SYSTEMATISCHE BEOORDELING VAN DE FYSIOLOGISCHE EN GEZONDHEIDSGERELATEERDE EFFECTEN VAN BLOOTSTELLING AAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN VAN DRAADLOZE COMMUNICATIEAPPARATUUR OP KINDEREN EN ADOLESCENTEN IN EXPERIMENTELE EN EPIDEMIOLOGISCHE STUDIES BIJ MENSEN.

Bodewein, L., Dechent, D., Graefrath, D., Kraus, T., Krause, T., Driessen, S. (2022). Systematic review of the physiological and health-related effects of radiofrequency electromagnetic field exposure from wireless communication devices on children and adolescents in experimental and epidemiological human studies. PLoS ONE 17(6): e0268641. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268641

Achtergrond en doelstelling: Al meer dan 20 jaar worden de potentiële gezondheidsrisico's van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) van mobiele communicatieapparatuur bij kinderen en adolescenten onderzocht, omdat ze worden beschouwd als gevoelige bevolkingsgroepen; het blijft echter onduidelijk of een dergelijke blootstelling een bepaald risico voor hen inhoudt. Het doel van deze review was het systematisch analyseren en evalueren van de fysiologische en gezondheidsgerelateerde effecten van RF-EMV-blootstellingen van draadloze communicatieapparatuur (mobiele telefoons, draadloze telefoons, Bluetooth, etc.) op kinderen en adolescenten.

Methodologie: Deze review is opgesteld volgens de Preferred Reporting Items voor systematische reviews en meta-analyses (PRISMA). Methodologische beperkingen in individuele onderzoeken werden beoordeeld met behulp van de Office of Health Assessment and Translation (OHAT) Risk-of-Bias Rating Tool for Human and Animal Studies.

Resultaten: In totaal kwamen 42 epidemiologische en 11 experimentele onderzoeken in aanmerking voor deze beoordeling. De meeste onderzoeken vertoonden verschillende methodologische zwakheden die de interne validiteit van de resultaten beperkten. Vanwege een gebrek aan consistentie met betrekking tot de uitkomsten en het gebrek aan wetenschappelijke nauwkeurigheid in de meeste beoordeelde onderzoeken, was er weinig tot onvoldoende bewijs voor de effecten van RF-EMV van mobiele communicatieapparatuur op subjectieve symptomen, cognitie en gedrag bij kinderen en adolescenten. Evidentie uit de studies naar de ontwikkeling in de vroege kinderjaren, hersenactiviteit, kanker en fysiologische parameters werd als ontoereikend beschouwd om conclusies over mogelijke effecten te trekken.

Conclusie: Over het algemeen laat de hoeveelheid bewijs geen definitieve conclusie toe over de vraag of blootstelling aan RF-EMV van mobiele communicatieapparatuur een bijzonder risico vormt voor kinderen en adolescenten.
Er is een snelle ontwikkeling geweest in technologieën die RF-EMV genereren, die op grote schaal worden gebruikt door kinderen en adolescenten. Daarom bevelen de auteurs ten zeerste kwalitatief hoogstaand systematisch onderzoek aan bij kinderen en adolescenten, aangezien zij over het algemeen als gevoelige leeftijdsgroepen worden beschouwd.

2 GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS

2.1 EFFECTEN VAN HET GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS OP SPERMAPARAMETERS: EEN TRANSVERSAAL ONDERZOEK ONDER 1634 MANNEN IN SHANSHAN, CHINA.

Zhang, S., Mo, F., Chang, Y., Wu, S., Ma, Q., Jin, F., Xing, L. (2022). Effects of mobile phone use on semen parameters: a cross-sectional study of 1634 men in China Shanshan. Reproduction, Fertility and Development, 34(9), 669–678. https://doi:10.1071/RD21234
Achtergrond en doelstelling: Mobiele telefoons spelen een onvervangbare rol in het leven van de moderne mens. De radiofrequente elektromagnetische straling die door mobiele telefoons wordt geproduceerd, heeft echter ook tot toenemende bezorgdheid geleid.
Methodologie: Er werd een transversaal onderzoek uitgevoerd om het effect van radiofrequente elektromagnetische straling geproduceerd door mobiele telefoons op spermaparameters te onderzoeken bij 1634 mannen die spermaonderzoek ondergingen bij de afdeling Reproductieve Endocrinologie, Women's Hospital, School of Medicine, Zhejiang University, China. Variantieanalyse en multivariate lineaire regressie werden gebruikt om verschillen tussen verschillende groepen te onderzoeken. Een $P < 0,05$ werd als statistisch significant beschouwd.
Resultaten: De resultaten toonden significante associaties tussen verschillende groepen van dagelijkse gebruikstijd van mobiele telefoons en dagelijkse duur van telefoongesprekken in het percentage progressief beweeglijke spermatozoa ($P = 0.004$ en $P = 0.007$), snelle progressief beweeglijke spermatozoa ($P = 0.012$ en $P = 0,006$) en totaal beweeglijke spermatozoa ($P = 0,004$ en $P = 0,046$). Na correctie voor de verstorende effecten van leeftijd en body mass index door meervoudige lineaire regressie, toonden de resultaten aan dat de dagelijkse duur van het gebruik van mobiele telefoons een negatief effect had op de beweeglijkheid van het sperma. Er was echter geen statistisch significante correlatie tussen de duur van het dagelijkse telefoongesprek en de beweeglijkheid van het sperma.
Conclusie: de dagelijkse duur van het gebruik van mobiele telefoons kan de beweeglijkheid van het sperma negatief beïnvloeden en de mannelijke vruchtbaarheid verminderen.
Commentaar: Ondanks de conclusie van de auteurs was er geen statistisch significante correlatie tussen de duur van het dagelijkse telefoongesprek en de beweeglijkheid van het sperma.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

3.1 CHEMISCHE POLARISATIE-EFFECTEN VAN ELEKTROMAGNETISCHE VELDSTRALING VAN DE NIEUWE 5G-NETWERKIMPLEMENTATIE OP ULTRAHOGE FREQUENTIE.

Matthew, U.O., Kazaure, J.S. (2021). Chemical polarization effects of electromagnetic field radiation from the novel 5G network deployment at ultrahigh frequency. Health and Technology, 11, 305-317. https://doi.org/10.1007/s12553-020-00501-x

Achtergrond en doelstelling: Het brede spectrum van niet-ioniserende, niet-zichtbare straling die wordt uitgezonden door de nieuwe 5G-netwerkimplementatie werd onderzocht en er werd vastgesteld dat het effecten zou kunnen produceren die het menselijk lichaam kunnen opwarmen en veranderen. De ultrahoogfrequente magnetische velden, veroorzaakten circulatie van stromen in het omringende menselijk lichaam bij mogelijke blootstelling. Het kwantum van deze elektromagnetische ladingen wordt beïnvloed door de grootte van het externe magnetische veld. De opwarming van de magnetische velden is het belangrijkste organische gevolg van de radiofrequente straling van elektromagnetische velden die wordt uitgezonden door 5G-netwerkinstallaties, vooral bij zeer hoge frequenties.

Resultaten: Uit het huidige onderzoek blijkt dat de niveaus van elektromagnetische velden waartoe individuen worden blootgesteld onder 4G-netwerk en 5G-netwerktechnologie zeer verwaarloosbaar zijn om de dipolaire chemie van het menselijk lichaam te veranderen. Op basis van de verschillende bevindingen van het onderzoek, zal het inzetten van 5G-netwerktechnologie onder de ultrahoge frequentie boven 20 GHz een effect produceren dat de menselijke lichaamsweefsels zal opwarmen als gevolg van elektromagnetische velden, aangezien het menselijk lichaam dipolair van aard is. Het onderzoek toonde aan dat hoewel de huidige digitale samenleving zal blijven investeren in 5G-netwerktechnologie, voorzichtigheid moet worden betracht om geen 5G-netwerk in te zetten onder ultrahoge frequenties boven 20 GHz vanwege de nadelige gevolgen voor de gezondheid.

Opmerking van dr. De Waegeneer: Momenteel zijn er nog geen commerciële netwerken met ultrahoge frequenties in Europa.

3.2 LONGITUDINAAL ONDERZOEK NAAR BLOOTSTELLING AAN RADIOFREQUENTIES OP POPULATIESCHAAL

Boussad, Y., Chen, X., Legout, A., Chaintreau, A., Dabbous, W. (2022). Longitudinal study of exposure to radio frequencies at population scale. Journal of Environmental Health, 162, 107144. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107144

Achtergrond en doelstelling: Het evalueren van blootstelling aan radiofrequenties (RF) op populatieschaal is belangrijk voor het uitvoeren van degelijk epidemiologisch onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten van RF-straling. Talrijke studies meldden blootstelling van de bevolking aan RF-straling die wordt gebruikt in draadloze telecommunicatietechnologieën, maar gebruikten zeer kleine steekproeven. In deze context blijft de werkelijke blootstelling van de bevolking slecht begrepen.

Methodologie: De auteurs rapporteren de grootste populatiegebaseerde meting van de blootstelling van de bevolking aan RF geproduceerd door mobiele antennes, wifi-toegangspunten en Bluetooth-apparaten voor 254.410 unieke gebruikers in 13 landen van januari 2017 tot december 2020. De auteurs beoordelen de blootstelling van de bevolking aan RF-straling met behulp van smartphonemetingen die zijn verkregen met de ElectroSmart Android-app. Vervolgens gebruiken ze deze methoden om de evolutie van RF-blootstelling te evalueren en te karakteriseren.
Resultaten: de totale blootstelling is vermenigvuldigd met 2,3 in de beschouwde periode van vier jaar, met wifi als grootste bijdrage. De cellulaire blootstellingsniveaus zijn ordes van grootte lager dan de wettelijke limieten en zijn niet gecorreleerd aan het nationale regelgevingsbeleid. De bevolking heeft de neiging om thuis meer blootgesteld te zijn; voor de helft van de proefpersonen droegen persoonlijke wifi-routers en Bluetooth-apparaten bij tot meer dan 50% van hun totale blootstelling.
Conclusie: In dit werk laten de auteurs zien hoe op populatiegebaseerde gegevens grootschalige en langdurige beoordeling van de blootstelling van de bevolking aan RF-straling mogelijk maken.

4 MENSELIJKE EXPERIMENTELE STUDIES

4.1 BLUETOOTH VERSUS NIET-BLUETOOTH-OORTELEFOONS EN HUN POTENTIEEL SCHADELIJK EFFECT OP HET GEHOOR: EEN TRANSVERSAAL ONDERZOEK UITGEVOERD ONDER STUDENTEN GENEESKUNDE, SAOEDI-ARABIË.

Abdel-Haleem, Z.A., Idrees, M.M.N., Sami, W. (2022). Bluetooth versus non- Bluetooth earphones and their potential harmful effect on hearing: a cross-sectional study conducted among undergraduate medical students, Saudi Arabia. *International Journal of Early Childhood Special Education, 14(3*), in press.
Achtergrond en doel: Het gebruik van Bluetooth- en niet-Bluetooth-oortelefoons neemt wereldwijd toe. Onjuist gebruik van deze apparaten gaat gepaard met een hoger risico op gehoorverlies. Het doel van deze studie was om het effect van het gebruik van Bluetooth- en niet-Bluetooth-oortelefoons op de gehoorfunctie te bepalen en om te bepalen of het gecombineerde gebruik van beide typen een grotere negatieve invloed op het gehoor heeft of niet.
Methoden: Er werd een dwarsdoorsnede-onderzoek uitgevoerd bij 42 volwassen vrouwelijke studenten van de medische faculteit, Majmaah University. Het omvatte een vragenlijst om de luistergewoonten van oortelefoons te evalueren en pure-tone audiometrie om de gehoorfunctie te beoordelen. De gegevens werden geanalyseerd met behulp van ANOVA- en Chi-kwadraattests om aan de doelstellingen van het onderzoek te voldoen.
Resultaten: Ongeveer 85,7% van de studenten had een gehoordrempel van ≥20 dB HL op een of meer frequenties. Linkeroren waren meer aangetast dan rechteroren. Gehoordrempel > 40dB HL werd waargenomen in het linkeroor. Een significant groter verschil werd alleen waargenomen tussen de gecombineerde groep en de Bluetooth-groep bij een frequentie van 250 Hz in het linkeroor. Er werd geen significant verschil waargenomen tussen onderzochte groepen bij andere frequenties. Slechtere gehoordrempels werden waargenomen bij degenen die vaak oortelefoons gebruikten.

Conclusie: De belangrijkste gehoordrempels waren laag bij oortelefoongebruikers, wat kan worden geïnterpreteerd als een negatief effect op het gehoor. Het gecombineerde gebruik van beide typen oortelefoons had geen negatievere invloed op de gehoordrempel. Het is van essentieel belang om onderwijsprogramma's te implementeren om jongeren bewust te maken van correct gebruik van oortelefoons en om hun houding ten opzichte van hen te veranderen.

5 ALGEMENE CONCLUSIE VAN DIT TRIMESTER

De meeste epidemiologische onderzoeken ondersteunen geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en verschillende soorten tumoren. Ook andere negatieve gezondheidseffecten zijn niet overtuigend wetenschappelijk bewezen. Er is echter nog meer onderzoek nodig naar opkomende technologieën zoals 5G.

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het tweede trimester van 2022 werden gepubliceerd.

Seppe Segers, Maryse Ledent, & Birgit Mertens
Sciensano, Dienst Risico- en Gezondheidsimpactevaluatie

1 REVIEWS

Prlić I, Šiško J, Varnai VM, et al. Wi-Fi-technologie en gevolgen voor de menselijke gezondheid: een kort overzicht van de huidige kennis. [Wi-Fi technology and human health impact: a brief review of current knowledge.] Arh Hig Rada Toksikol. 2022;73(2):94-106. Gepubliceerd 2022 Jul 7. doi:10.2478/aiht-2022-73-3402

De enorme toename in de toepassing van draadloze communicatie in de afgelopen decennia heeft het onderzoek versterkt naar het verband tussen de daaruit voortvloeiende verhoogde humane blootstelling aan elektromagnetische (EM) radiofrequente (RF) stralingsvelden en mogelijke gevolgen voor de gezondheid, in het bijzonder bij schoolkinderen en tieners. Dit artikel geeft een beknopt overzicht van de huidige bevindingen en aanbevelingen van internationale expertenorganisaties, met de nadruk op de blootstelling afkomstig van Wi-Fi-technologie indoor-apparaten. De analyse van de auteurs omvat meer dan 100 *in vitro*, dierlijke, epidemiologische en blootstellingsevaluatiestudies (waarvan 37 *in vivo* en 30 met betrekking tot Wi-Fi-technologieën). Slechts een klein deel van de gepubliceerde onderzoekartikels verwijst naar de "echte" gezondheidseffecten van Wi-Fi-technologieën op kinderen omdat deze slechts in beperkte mate niet beschikbaar zijn. Resultaten van dierstudies zijn zelden volledig vertaalbaar naar mensen. Aangezien de sterk gecontroleerde laboratoriumblootstellingsexperimenten niet de echte fysieke interactie tussen RF-stralingsvelden en biologisch weefsel weerspiegelen, moeten de dosimetriemethoden, protocollen en instrumentatie voor dit soort onderzoek voortdurend worden verbeterd. Verschillende studies hebben herhaaldelijk het thermische effect van de wisselwerking tussen RF-velden en menselijk weefsel bevestigd, maar de niet-thermische effecten blijven twijfelachtig en onbevestigd.

Jagetia GC. Genotoxische effecten van elektromagnetische straling van mobiele telefoons. [Genotoxic effects of electromagnetic field radiations from mobile phones.] *Environ Res*. 2022;212(Pt D):113321. doi:10.1016/j.envres.2022.113321

Het gebruik van draadloze communicatietechnologie in mobiele telefoons heeft een revolutie teweeggebracht in de moderne telecommunicatie en mobiele telefoons zijn zo populair geworden dat hun aantal groter is dan de totale wereldbevolking. Elektromagnetische velden (EMV) zijn een integraal onderdeel van draadloze technologie die wordt uitgezonden door mobiele telefoons, antennes van mobiele masten, elektriciteitscentrales, transmissielijnen, radars, magnetrons, televisietoestellen, koelkasten, diagnostische, therapeutische en andere elektronische apparaten. Door de mens gecreëerde EMV-bronnen komen bovenop de bestaande last van natuurlijke blootstelling van de mens aan EMV afkomstig van de zon, de kosmos, atmosferische ontladingen

en onweersbuien. EMV met inbegrip van radiofrequente golven (RF) en extreem laagfrequente straling (ELF) hebben grote belangstelling gewekt omdat blootstelling eraan op korte termijn mogelijk hoofdpijn, vermoeidheid, oorsuizingen, concentratieproblemen, depressie, geheugenverlies, huidirritatie, slaapstoornissen, misselijkheid, cardiovasculaire effecten, pijn op de borst, immuniteit en hormonale stoornissen bij de mens veroorzaakt, terwijl blootstelling aan EMV op lange termijn zou kunnen leiden tot de ontwikkeling van kanker. Dit overzichtsartikel is geschreven door informatie aangaande het onderwerp te verzamelen met behulp van verschillende zoekmachines waaronder google scholar, PubMed, SciFinder, Science direct, EMF-portal, saferemr, en andere websites. Het belangrijkste doel van dit overzichtsartikel is om de mogelijke mutagene en genotoxische effecten van EMV bij mensen en zoogdieren in kaart te brengen. Talrijke onderzoeken hebben uitgewezen dat blootstelling in het bereik van 0-300 GHz EMV onschadelijk is, omdat blootstelling eraan niet resulteerde in een toename van micronuclei en chromosoomafwijkingen. Daarentegen hebben diverse andere onderzoeken aangetoond dat blootstelling aan EMV genotoxisch en mutageen is, aangezien het de frequentie van micronuclei, chromosoomafwijkingen, DNA-adducten en DNA-enkelstrengbreuken op moleculair niveau *in vitro* en *in vivo* verhoogt. De blootstelling aan EMV induceerde is sommige studies ook de vorming van reactieve zuurstofspecies en beïnvloedde genen die betrokken zijn bij signaaltransductie, cytoskeletvorming en cellulair metabolisme.

Lai H, Levitt BB. De rol van intensiteit, blootstellingsduur en modulatie op de biologische effecten van radiofrequente straling en blootstellingrichtlijnen. [The roles of intensity, exposure duration, and modulation on the biological effects of radiofrequency radiation and exposure guidelines.] *Electromagn Biol Med*. 2022;41(2):230-255. doi:10.1080/15368378.2022.2065683

In dit artikel geven de auteurs een overzicht van de literatuur over drie belangrijke blootstellingsmetrieken die onvoldoende aan bod komen in de meeste belangrijke huidige blootstellingsrichtlijnen voor radiofrequentie (RF) elektromagnetische velden (EMV): intensiteit, blootstellingsduur, en signaalmodulatie. De blootstellingsintensiteit veroorzaakt onvoorspelbare effecten, zoals blijkt uit gerapporteerde niet-lineaire effecten. Dit wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door het vermogen van het biologische systeem om zich aan te passen en te compenseren, maar kan uiteindelijk leiden tot een biologische afbraak na langdurige blootstelling. Uit een analyse van 112 studies met lage intensiteit blijkt dat de biologische effecten van RF-EMV zich zouden kunnen voordoen bij een mediane stralingswaardes van 0,0165 W/kg. De intensiteit en de blootstellingsduur beïnvloeden elkaar, aangezien de geabsorbeerde energiedosis het product is van de intensiteit en de tijd. Het resultaat is dat RF-EMV zich gedraagt als een biologische "stressor" die invloed kan hebben op talrijke levende systemen. Naast de intensiteit en de duur worden door de mens gegenereerde RF-EMV doorgaans gemoduleerd om informatie te kunnen coderen. De effecten van modulatie op biologische functies is nog niet duidelijk. Vier soorten effecten van modulatie worden besproken. Bovendien is het onmogelijk om directe vergelijkingen te maken tussen thermische energie en RF elektromagnetische energie. Onderzoeksgegevens wijzen erop dat elektromagnetische energie biologisch gezien meer effecten veroorzaakt dan alleen thermische veranderingen. De twee werken waarschijnlijk via verschillende mechanismen. Op basis van hun review concluderen de auteurs dat de huidige richtlijnen voor de blootstelling aan RF-EMV, die gebaseerd zijn op acute blootstelling met continue golf, zonder modulatie, ontoereikend zijn voor de bescherming van de gezondheid.

2 NEOPLASTISCHE ZIEKTEN

2.1 IN VIVO STUDIES

/

2.2 IN VITRO STUDIES

/

3 (ANTI-)GENOTOXICITY STUDIES

/

4 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

4.1 IN VIVO STUDIES

Sharma A, Shrivastava S, Singh A, et al. Evidentie voor effecten van blootstelling aan radiofrequentie op de antioxidant status die mogelijk kunnen bijdragen tot de ontstekingsreactie en demyelinisatie in de hersenen van ratten [Evidences of the radiofrequency exposure on the antioxidant status, potentially contributing to the inflammatory response and demyelination in rat brain.] [published online ahead of print, 2022 Jun 11]. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2022;94:103903. doi:10.1016/j.etap.2022.103903

De huidige studie toonde het oxidatief potentieel van microgolfstraling (MGS) aan resulterende in neurodegeneratie bij ratten. Wistar ratten werden blootgesteld aan een frequentie van 2100 MHz gedurende 4 uur/dag, 5 dagen/week/3 maanden. De dieren werden blootgesteld aan een geschatte stralingswaarde (0,453 W/kg) en vermogensdichtheid (8,237 µW/m^2). Na de blootstelling werd de bestraalde groep vergeleken met de controlegroep. Uit de resultaten bleek dat blootstelling aan microgolven het gehalte aan serologische triglyceriden en cholesterol aanzienlijk verhoogde. Oxidatieve stress werd waargenomen door de verandering in glutathion homeostase gevolgd door een geactiveerde ontstekingsreactie die verder werd bevestigd door pro- en anti-inflammatoire cytokines in de blootgestelde groep. Histopathologische beoordelingen en elektronenmicroscopische observatie bevestigden een significante verandering in het myelinisatiepatroon en de cellulaire organellen in de hersenen van de blootgestelde dieren. Op basis van deze bevindingen concluderen de auteurs dat chronische blootstelling aan de 2100-MHz

frequentie oxidatieve stress veroorzaakt, die leidt tot neurale schade en demyelinisatie en de neurale communicatie kan beïnvloeden.

Dasdag S, Akdag MZ, Bashan M, et al. Rol van 2,4 GHz radiofrequente straling van Wi-Fi op miRNA en vetzuursamenstelling in de hersenen. [Role of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi on some miRNA and faty acids composition in brain.] [published correction appears in Electromagn Biol Med. 2022 Jun 20;:1-3]. *Electromagn Biol Med*. 2022;41(3):281-292. doi:10.1080/15368378.2022.2065682

Het doel van deze studie is het onderzoeken van de effecten van blootstelling aan 2,4 GHz Wi-Fi, dat continu gebruikt wordt in de internetverbinding door mobiele telefoons, computers en andere draadloze apparatuur, op microRNA en membraan- en vetzuursamenstelling van hersencellen. Zestien Wistar Albino-ratten werden gelijk verdeeld in twee groepen, namelijk schijnblootstelling en echte blootstelling. De ratten in de experimentele groep (n = 8) werden blootgesteld aan 2.4 GHz RF-EMV uitgezonden door een Wi-Fi generator gedurende 24 uur per dag voor een periode van één jaar. De dieren in de controlegroep (n = 8) werden onder dezelfde omstandigheden gehouden als deze in de experimentele groep, maar de Wi-Fi-generator was uitgeschakeld. Aan het einde van de studie werden de ratten gedood en werden de hersenen verwijderd om de miRNA-expressie en de membraan- en vetzuren van de hersencellen te analyseren. De auteurs evalueerden de situatie van tien verschillende miRNA-expressies en negentien vetzuurpatronen in deze studie. De auteurs stelden vast dat langdurige en overmatige blootstelling aan 2,4 GHz Wi-Fi-straling rno-miR-181a-5p, fosfatidylserine (PS) en triacylglycerol (TAG) in de hersenen deed toenemen. Op basis hiervan concluderen de auteurs dat blootstelling aan 2,4 GHz Wi-Fi de expressie van rno-miR-181a-5p en het vetzuurpercentage van sommige membraanlipiden, zoals fosfolipide (PL), fosfatidylserine (PS) en triacylglycerol (TAG), die opslagvetten in de hersenen zijn, kan veranderen. Het ongecontroleerde gebruik van RF-EMV, waarvan de toepassing en diversiteit een ongelooflijke omvang hebben bereikt die in de toekomst nog zal toenemen, kan echter de weg banen voor vele ziekten waarmee de auteurs vandaag geen verband kunnen leggen.

4.2 IN VITRO STUDIES

/

5 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

5.1 IN VIVO STUDIES

Yan S, Ju Y, Dong J, et al. Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische straling van de vader veroorzaakt seksespecifieke verschillen in het lichaamsgewichttraject en het glucosemetabolisme bij nakomelingen van muizen. [Paternal Radiofrequency Electromagnetic Radiation Exposure Causes Sex-Specific Differences in Body Weight Trajectory and Glucose

Metabolism in Offspring Mice.] *Front Public Health*. 2022;10:872198. Published 2022 May 6. doi:10.3389/fpubh.2022.872198

Er is momenteel een toenemende bezorgdheid over de schadelijke effecten van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV). In de huidige studie onderzochten de auteurs de effecten van langdurige blootstelling (minstens 10 weken) aan RF-EMV [2,0 GHz; vermogensdichtheid, 2,5 W/m^2; stralingswaarde (SAR) voor het hele lichaam, 0,125-0,5 W/kg] op de vruchtbaarheid van mannelijke muizen en de groei van de eerste nakomelingen (F1) en het glucosemetabolisme. Er werden geen significante beschadigingen waargenomen in de organisatie van de testis, de kwaliteit van het sperma, en het zwangerschapspercentage. Muizen die blootgesteld werden aan RF-EMV vertoonden echter een significant verhoogd apoptosecijfer in de zaadcellen van de testis. Interessant is dat blootstelling aan RF-EMV van de vader resulteerde in geslacht specifieke gewichtsverschillen en veranderingen in het glucose metabolisme bij mannelijke F1 muizen, maar niet bij vrouwelijke F1 muizen. Het veranderde glucosemetabolisme bij mannelijke F1 muizen kan het gevolg zijn van de veranderde genexpressie van lever Gck. Deze gegevens suggereren dat blootstelling van mannelijke muizen aan 2,0 GHz RF-EMV over het hele lichaam geen duidelijke schade toebrengt aan de testis, de kwaliteit van het sperma en het zwangerschapspercentage. RF-EMV blootstelling van de vader veroorzaakt daarentegen veranderingen in lichaamsgewicht trajecten en glucose metabolisme van F1 maar enkel bij mannelijke nakomelingen.

5.2 IN VITRO STUDIES

/

6 OTHER EFFECTS

6.1 IN VIVO STUDIES

Dong VNK, Tantisuwat L, Setthawong P, Tharasanit T, Sutayatram S, Kijtawornrat A. De voorlopige chronische effecten van elektromagnetische straling van mobiele telefoons op de hartslagvariabiliteit, de hartfunctie, de bloedprofielen en de spermakwaliteit bij gezonde honden. [The Preliminary Chronic Effects of Electromagnetic Radiation from Mobile Phones on Heart Rate Variability, Cardiac Function, Blood Profiles, and Semen Quality in Healthy Dogs.] *Vet Sci*. 2022;9(5):201. Published 2022 Apr 21. doi:10.3390/vetsci9050201

Deze studie heeft tot doel de effecten te bepalen van langdurige blootstelling aan elektromagnetische straling van mobiele telefoons (MTs) op de hartslagvariabiliteit (HSV), de hartfunctie, de bloedprofielen, de lichaamstemperatuur en de spermakwaliteit bij gezonde honden. Acht mannelijke honden werden blootgesteld aan MT's (1962-1966 MHz; stralingswaarde0,96 W/kg) gedurende 2 uur/dag, 5 dagen/week, voor een periode van 10 weken. Holter monitoring voor HSV analyse werd uitgevoerd voor het bepalen van de basislijn (BL) en om de 2 weken, tot het einde van de studie. Elektrocardiogrammen (ECG), bloeddruk (BP), echocardiografie, cardiaal troponine I

(cTnI), hematologie- en biochemieprofielen, lichaamsoppervlaktetemperatuur, en spermakwaliteit werden geëvalueerd bij het begin van de studie (BL), en op week 5 en week 10 tijdens de blootstelling. De resultaten toonden aan dat de meeste HRV-parameters niet significant verschilden tussen de tijdstippen, behalve het gemiddelde van een interval tussen continue normale R-golven in week 6 dat hoger was dan dat in BL (p = 0,022). De RR- en QT-intervallen van het ECG in week 5 waren verlengd, vergeleken met de BL-waarden (p = 0,001 en p = 0,003, respectievelijk), maar deze parameters lagen binnen de normale grenzen. De resultaten van de echocardiografie, de bloeddruk, de cTnI-concentraties, de lichaamstemperatuur en de spermakwaliteit verschilden niet van de BL-waarden. Op basis hiervan concluderen de auteurs dat in hun studie geen aanwijzingen werden gevonden voor een nadelig effect van blootstelling aan mobiele telefoons op de HRV, de hartfunctie, de bloedprofielen, de lichaamsoppervlaktetemperatuur of de spermakwaliteit bij gezonde honden, bij blootstelling gedurende 10 weken.

6.2 IN VITRO STUDIES

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K. Thapsigargin blokkeert elektromagnetische veld-geïnduceerde intracellulaire Ca2+ verhoging in HEK 293 cellen [Thapsigargin blocks electromagnetic field-elicited intracellular Ca2+ increase in HEK 293 cells.] *Physiol Rep*. 2022;10(9):e15189. doi:10.14814/phy2.15189

Biologische effecten van elektromagnetische velden (EMV's) zoals wijzigingen in celproliferatie en veranderingen in expressie en geleiding van diverse soorten ionenkanalen werd reeds vroeger waargenomen. Het belangrijkste effect van EMV's lijkt gericht te zijn op de Ca2+ homeostase. Dit is bijzonder opmerkelijk omdat Ca2+ een centrale rol speelt in diverse signaaltransductiewegen, met inbegrip van, maar niet beperkt tot, celdifferentiatie en celoverleving. Desondanks zijn de mechanismen die aan de basis liggen van deze modulatie nog niet ontrafeld. Hier hebben de auteurs het effect van EMV's op intracellulair [Ca2+] onderzocht, door HEK 293 cellen bloot te stellen aan zowel radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV's) als statische magnetische velden (SMV's). De auteurs ontdekten een constante en significante toename van [Ca2+] na blootstelling aan beide soorten velden. Opvallend genoeg werd de toename teniet gedaan door toediening van 10 µM Thapsigargin, een blokker van sarco/endoplasmatisch reticulum Ca2+ -ATPases (SERCAs), hetgeen wijst op de betrokkenheid van het endoplasmatisch reticulum (ER) bij EMV-gerelateerde modulatie van Ca2+ -homeostase.

Gökçen S, Kurt B, Küçükbağrıaçık Y, Ozgur-Buyukatalay E, Kismali G. Effecten van radiofrequente straling op apoptotische en anti-apoptotische factoren in colorectale kankercellen. [Effects of radiofrequency radiation on apoptotic and antiapoptotic factors in colorectal cancer cells.] *Electromagn Biol Med*. 2022;41(3):325-334. doi:10.1080/15368378.2022.2095643

In deze studie werd het effect van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op apoptotische en anti-apoptotische factoren onder verschillende blootstellingscondities in menselijke colon adenocarcinoma cellen (Caco-2) onderzocht. De auteurs analyseerden de effecten van blootstelling aan 2,5 GHz continue golf en 3 GPP gemoduleerde radiofrequente straling (15 min aan, 15 min uit) gedurende 1 uur en (1 uur aan, 1 uur uit) gedurende 3 uur op Caco-2 cellijnen. De levensvatbaarheid van de Caco-2-cellen werd bepaald met behulp van de XTT-

methode. Vervolgens werden de cellen geanalyseerd met behulp van flowcytometrie om de effecten op apoptose vast te stellen door kleuring met AnnexinV-FITC en PI. Eiwit expressieniveaus van Bcl-2, Bax, Caspase-3 en Survivin werden vervolgens geanalyseerd met behulp van flowcytometrische methoden. Bax, Caspase 8, en Survivin eiwitniveaus werden ook geanalyseerd door middel van Western blot. De levensvatbaarheid van de cellen was niet significant verschillend na blootstelling aan RF-EMV van 2,5 GHz gedurende 1 uur, maar blootstelling aan RF-EMV gedurende 3 uur bij 2,5 GHz frequenties veroorzaakte een afname van de levensvatbaarheid van de Caco-2 cellen. RF-EMV-blootstelling gedurende 1 en 3 uur bij 2,5 GHz-frequenties resulteerde in een apoptotische respons. Eiwitanalyses van Bcl-2, Bax, Survivin, Caspase-3, en Caspase-8 toonden aan dat RF-EMV leidde tot een verhoging van de proapoptotische niveaus van Bax, Caspase-3, en Caspase 8 in Caco-2 cellen onder verschillende blootstellingscondities. Echter, 3 uur blootstelling veroorzaakte een daling in anti-apoptotische survivin niveaus. De resultaten van deze studie geven aan dat blootstelling aan RF-EMV het mechanisme van celdood via de apoptotische pathway beïnvloedt.

ALGEMENE OPMERKINGEN

Dit verslag omvat zes experimentele studies en drie reviews over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV). Van de 9 publicaties kon de volledige tekst van één review (Lai et al.) en één experimentele studie (Gökçen et al.) niet worden teruggevonden. De samenvattingen van deze studies zijn voor de volledigheid wel opgenomen in dit verslag.

In de review van Prlić et al. gaven de auteurs een overzicht van de huidige consensus over de gezondheidseffecten van Wi-Fi-technologie. Zij concluderen dat er alleen bewijs is voor thermische effecten, maar dat de blootstelling aan Wi-Fi niet voldoende is om dit soort effecten te veroorzaken. Zij benadrukken ook dat voor niet-thermische effecten het wetenschappelijk bewijs ontoereikend en inconsistent is. Hun globale conclusie is dat er dus tot nu toe geen overtuigend bewijs is voor eventuele negatieve gezondheidseffecten als gevolg van de blootstelling aan Wi-Fi.

In de review van Jagetia et al. onderzochten de auteurs het effect van RF-blootstelling op genotoxische eindpunten. Zij benadrukken dat de uitkomsten van de verschillende genotoxiciteitsstudies zeer uiteenlopend zijn, waarbij sommige studies een duidelijke toename van DNA-beschadiging na RF-blootstelling aantonen, terwijl andere geen effect van RF op het genetisch materiaal lieten zien. In de review werd echter de kwaliteit van de verschillende studies niet beoordeeld en werd alleen een overzicht gegeven van de beschikbare onderzoeksresultaten.

Lai en collega's hebben de beschikbare literatuur bestudeerd over drie belangrijke blootstellingsmetrieken die volgens hun onvoldoende aan bod komen in de meeste belangrijke huidige richtlijnen voor de blootstelling aan RF-straling: intensiteit, blootstellingsduur, en signaalmodulatie. Op basis van dit onderzoek concluderen zij dat niet-thermische effecten via andere mechanismen kunnen plaatsvinden dan thermische effecten, waarmee zij het dus oneens zijn met de conclusie van Prlić dat het bewijs voor niet-thermische effecten in de momenteel

beschikbare literatuur zwak is. Zij voerden ook aan dat de huidige blootstellingsrichtsnoeren, die gebaseerd zijn op acute continue blootstelling, ontoereikend zijn voor de bescherming van de gezondheid. Aangezien echter geen toegang kon worden verkregen tot het volledige manuscript van de studie, kan geen uitspraak worden gedaan over de wetenschappelijke geldigheid van het onderzoek. De studie is hier voor de volledigheid opgenomen.

Alle experimentele studies die in dit verslag zijn opgenomen, vertoonden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies bevatten geen of slechte dosimetriebepalingen (Bertanga et al.) of gebruikten blootstellingssystemen die niet geschikt waren voor hun doel (Bertanga et al., Dong et al.). Voor sommige studies was het onduidelijk of de juiste schijnblootstellingsomstandigheden of controles werden gebruikt (Bertanga et al., Yan et al.). In de meeste studies (Bertanga e.a., Dong e.a., Yan e.a., Dasdag e.a., Sharma e.a.) ontbraken ook de juiste geblindeerde testcondities.

Bovendien werd de temperatuur van het staal (lichaamstemperatuur in het geval van *in vivo* studies of mediumtemperatuur in het geval van *in vitro* studies) in de meeste experimenten niet gecontroleerd (Yan et al., Dasdag et al., Sharma et al.) en kon bijgevolg geen rekening worden gehouden met mogelijke opwarming van het staal ten gevolge van de RF-EMV blootstelling. Voor de meeste studies werd de omgevingstemperatuur in de kamer gecontroleerd.

Daarnaast kon, zoals eerder vermeld, de volledige tekstversie van Gökçen et al. niet worden teruggevonden en bijgevolg kon de kwaliteit van de experimentele opzet van deze studie niet worden beoordeeld.

Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks in verband te brengen met gezondheidseffecten bij de mens, aangezien de relevantie van *in vitro* of bij proefdieren waargenomen effecten voor de mens vaak niet duidelijk is. Deze studies moeten ook onafhankelijk worden gerepliceerd om de geldigheid van de resultaten te kunnen garanderen.

Op basis van de resultaten van de studies die in dit verslag zijn opgenomen kunnen we geen uitspraak doen over nieuwe negatieve gezondheidsuitkomsten in verband met RF-blootstelling. Zoals door verschillende auteurs in dit verslag is opgemerkt, blijft het belangrijk de methodologische kwaliteit van experimentele studies in aanmerking te nemen alvorens conclusies te trekken over de mogelijke gezondheidseffecten van RF.

Overzicht van de epidemiologische en humaan-experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het derde trimester van 2022 werden gepubliceerd.

dr. Els De Waegeneer
Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg
Universiteit Gent

1 REVIEWS EN META-ANALYSES

/

1.1 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS EN HET RISICO OP HOOFDPIJN: EEN SYSTEMATISCHE REVIEW EN META-ANALYSE

Farashi, S., Bashirian, S., Khazaei, S., Khazaei, M., Farhadinasab, A. (2022). International Archives for Occupational and Environmental Health, 95, 1587-1601. https://doi.org/10.1007/s00420-022-01835-x

Achtergrond en doelstelling: De effecten van elektromagnetische velden van mobiele telefoons op hoofdpijn zijn door veel onderzoekers bestudeerd in de voorbije decennia. Tot nu toe zijn er echter veel tegenstrijdige resultaten gemeld.
Methoden: In deze systematische review en meta-analyse werden belangrijke databases, waaronder PubMed, Scopus en Web of Science, doorzocht met behulp van geschikte zoektermen en PRISMA-richtlijnen om in aanmerking komende studies voor het effect van het gebruik van mobiele telefoons op hoofdpijn op te zoeken. Na de abstract- en full-text screening werden 33 studies weerhouden en werd de effectgrootte in termen van odds ratio (OR) geëxtraheerd. Heterogeniteit tussen de studies werd beoordeeld met behulp van *I*2-statistiek en *Q-test*, terwijl publicatiebias werd geëvalueerd door een funnel plot en aan de hand van Egger's en Begg's testen.
Resultaten: Van de 33 studies werden er 30 opgenomen in de meta-analyse. Bij het overwegen van alle studies werd de gepoolde effectgrootte van OR = 1,30 (95% BI 1,21-1,39) verkregen, terwijl de heterogeniteit tussen studies significant was. Subgroepanalyses door rekening te houden met de leeftijd van de deelnemers en de duur van de blootstelling aan EMV werden uitgevoerd om de bron van heterogeniteit te vinden. De odds ratio's wanneer de leeftijd van de deelnemers de variabele was, waren 1,33 (95% BI 1,14-1,53) en 1,29 (95% BI 1,20-1,37), voor leeftijden > 18 en leeftijd ≤ 18 jaar, respectievelijk. Wanneer de duur van de blootstelling aan EMV werd overwogen, verkreeg subgroepanalyse de gepoolde effectgrootte van OR = 1,41 (95% BI 1,22-1,61) en 1,23 (95% BI 1,12-1,34), voor EMV-blootstellingsduur > respectievelijk 100 en ≤ 100 minuten per week. De gepoolde effectgroottes benadrukten het effect van het gebruik van mobiele telefoons op hoofdpijn voor alle leeftijden en blootstellingsduur.

Conclusie: Uit de resultaten bleek dat leeftijd en blootstellingsduur (voornamelijk gespreksduur), beide de bron waren van heterogeniteit tussen studies. Bovendien toonden de resultaten aan dat het verhogen van de gespreksduur en het gebruik van mobiele telefoons bij oudere personen het risico op hoofdpijn verhoogde.

Opmerking van dr. De Waegeneer: De hoofdpijn kan ook verklaard worden door andere elementen die samenhangen met gsm-gebruik en dit risico op confounding moet in rekening genomen worden bij het beoordelen van de resultaten. Daarnaast is het belangrijk om steeds na te gaan hoe de blootstelling gemeten is. Zelfrapportage kan bijvoorbeeld ook een vertekening opleveren.

1.2 BEWIJS VOOR EEN GEZONDHEIDSRISICO DOOR RF OP MENSEN DIE ROND BASISSTATIONS VAN MOBIELE TELEFOONS LEVEN: VAN RADIOFREQUENTE ZIEKTE TOT KANKER

Balmori, A. (2022) Environmental, 214, 113851. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113851

Achtergrond en doelstelling: Het doel van dit werk was om een volledige herziening van de bestaande wetenschappelijke literatuur uit te voeren om de kennis over de effecten van basisstationantennes op mensen bij te werken.
Methoden: Studies uitgevoerd in stedelijke omstandigheden, met mobiele telefoon basisstations in de buurt van appartementen, werden geselecteerd.
Resultaten en conclusie: De algemene resultaten van deze review tonen drie soorten effecten van basisstationantennes op de gezondheid van mensen: radiofrequente ziekte (RS), kanker (C) en veranderingen in biochemische parameters (CBP). Bij alle studies (n = 38), toonde 73,6% (28/38) effecten: 73,9% (17/23) voor radiofrequente ziekte, 76,9% (10/13) voor kanker en 75,0% (6/8) voor veranderingen in biochemische parameters. Bovendien leverden studies die niet voldeden aan de strikte voorwaarden om in deze review te worden opgenomen, belangrijk aanvullend bewijs op. Het bestaan van vergelijkbare effecten uit studies door verschillende bronnen (maar met RF met vergelijkbare kenmerken), zoals radar-, radio- en televisieantennes, draadloze slimme meters en laboratoriumstudies, versterken de conclusies van deze review. Van bijzonder belang zijn de studies die zijn uitgevoerd op dieren of bomen in de buurt van antennes van het basisstation die zich niet bewust kunnen zijn van hun nabijheid en waaraan psychosomatische effecten nooit kunnen worden toegeschreven.

Opmerking van dr. De Waegeneer: De enorme heterogeniteit van de studies en de methodieken voor de meting van de blootstelling zijn een aanleiding om de resultaten met argusogen te bekijken.

1.3 WI-FI-TECHNOLOGIE EN DE IMPACT OP DE MENSELIJKE GEZONDHEID: EEN KORT OVERZICHT VAN DE HUIDIGE KENNIS

Prlic, I., Sisko, J., Varnai, V.M., et al. (2022) Arch Hig Rada Toksikol, 73, 94-106.

https://doi.org/10.2478/aiht-2022-73-3402

Een enorme toename van de toepassing van draadloze communicatie in de afgelopen decennia heeft het onderzoek naar de daaruit voortvloeiende toename van de menselijke blootstelling aan elektromagnetische (EM) radiofrequente (RF) stralingsvelden en potentiële gezondheidseffecten geïntensiveerd, vooral bij schoolkinderen en tieners, en dit artikel geeft een overzicht van de huidige bevindingen en aanbevelingen van internationale deskundige instanties, met de nadruk op blootstelling van Wi-Fi-technologie binnenshuis apparaten. De analyse omvat meer dan 100 *in vitro*, dierlijke, epidemiologische en blootstellingsbeoordelingsstudies (waarvan 37 *in vivo* en 30 met betrekking tot Wi-Fi-technologieën). Slechts een klein deel van de gepubliceerde onderzoeksartikelen verwijst naar de "echte" gezondheidsimpact van wi-fi-technologieën op kinderen, omdat ze vaak eenvoudigweg niet beschikbaar zijn. Resultaten van dierstudies zijn zelden volledig toepasbaar op mensen. Omdat sterk gecontroleerde laboratoriumblootstellingsexperimenten geen echte fysieke interactie tussen RF-stralingsvelden met biologisch weefsel weerspiegelen, moeten dosimetriemethoden, protocollen en instrumentatie voortdurend worden verbeterd. Verschillende studies bevestigden herhaaldelijk het thermische effect van RF-veldinteractie met menselijk weefsel, maar niet-thermische effecten blijven dubieus en onbevestigd.

2 GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS

2.1 TRENDS IN HERSENKANKER (GLIOOM) IN NIEUW-ZEELAND VAN 1995 TOT 2020, MET BETREKKING TOT HET GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS

Elwood, M., Win, S.S., Aye, P.S., Sanagou, M. (2022). Cancer Epidemiology, 80, 102234.
https://doi.org/10.1016/j.canep.2022.102234

Achtergrond en doelstelling: Sommige case-control studies hebben een aanzienlijk verhoogd risico op glioom gesuggereerd in verband met het gebruik van mobiele telefoons; deze risico's zouden in de loop van de tijd leiden tot een toename van de incidentie.
Methodologie: Incidentiecijfers van glioom van 1995 tot 2020 naar leeftijd, geslacht en locatie in Nieuw-Zeeland (NZ) geregistreerd door het nationale kankerregister werden beoordeeld en trends geanalyseerd. Het telefoongebruik was gebaseerd op enquêtes.
Resultaten: In deze 25 jaar waren er 6677 incidentele gliomen, wat leeftijdsgestandaardiseerde percentages (WHO-wereldstandaard) van 6,04 bij mannen en 3,95 bij vrouwen per 100.000 oplevert. Het gebruik van mobiele telefoons nam snel toe vanaf 1990 tot meer dan 50% van de bevolking vanaf ongeveer 2000, en bijna de hele bevolking vanaf 2006. De incidentie van glioom in de leeftijd van 10-69 jaar heeft de afgelopen 25 jaar een kleine afname laten zien, gedurende welke tijd het gebruik van mobiele telefoons bijna universeel is geworden. De incidentie in de

hersenlocaties die de meeste radiofrequente energie ontvangen, laten een kleine afname laten zien. De incidentie op de leeftijd van 80 jaar en ouder is toegenomen.
Conclusie: Er zijn geen aanwijzingen voor een toename in verband met het gebruik van mobiele telefoons. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met de resultaten in Australië en in veel andere landen. De toename van de geregistreerde incidentie leeftijd ouder dan 80 is vergelijkbaar met die in andere landen en consistent met verbeterde diagnostische methoden.

Opmerking van dr. De Waegeneer: Zelfrapportage van het gsmgebruik kan een vertekening opleveren.

2.2 TIJDTRENDS IN HET GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS EN DE INCIDENTIE VAN GLIOMA BIJ MANNEN IN DE SCANDINAVISCHE LANDEN, 1979-2016

Deltour, I. , Poulsen, A.H. , Johansen, C. , Feychting, M. , Børge Johannesen, T. , Auvinen, A., Schüz, J. Environment International 168 (2022) 107487 https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107487

Achtergrond en doelstelling: In de Noorse landen nam het gebruik van mobiele telefoons in het midden van de jaren 1990 sterk toe, vooral onder mannen van middelbare leeftijd. De auteurs onderzochten tijdstrends in glioomincidentiecijfers (IR) met het perspectief om te informeren over de plausibiliteit van hersentumorrisico's van gebruik van mobiele telefoons gerapporteerd in sommige case-control studies.
Methodologie: De auteurs analyseerden IR van glioom in Denemarken, Finland, Noorwegen en Zweden bij mannen van 40-69 jaar, met behulp van gegevens uit nationale kankerregisters en bevolkingsstatistieken in 1979-2016, met behulp van log-lineaire joinpoint-analyse. Informatie over het regelmatige gebruik van mobiele telefoons en de hoeveelheid gesprekstijd werd verkregen uit grote studies naar mobiele telefoons in deze landen. De auteurs vergeleken de jaarlijkse waargenomen incidentie met die verwacht in verschillende risicoscenario's om te beoordelen welke van de gerapporteerde effectgroottes compatibel zijn met de waargenomen IR. De verwachte aantallen gevallen werden berekend rekening houdend met een impact van andere factoren naast het gebruik van mobiele telefoons, zoals verbeterde kankerregistratie.
Resultaten: Op basis van 18.232 glioomgevallen nam de IR licht maar gestaag toe met een verandering van 0,1% (95%CI 0,0%; 0,3%) per jaar in 1979-2016 bij 40-59-jarige mannen en voor de leeftijd van 60-69 jaar, met 0,6% (95%CI 0,4; 0,9) per jaar. De waargenomen IR-trends bij mannen van 40-59 jaar waren onverenigbaar met risicoratio's (RR) 1,08 of hoger met een vertraging van 10 jaar, RR ≥ 1,2 met 15-jarige vertraging en RR ≥ 1,5 met 20-jarige vertraging. Voor de leeftijdsgroep 60-69 jaar kunnen overeenkomstige effectgroottes RR ≥ 1,4, ≥2 en ≥ 2,5 worden afgewezen voor vertragingstijden 10, 15 en 20 jaar.
Conclusie: Deze studie bevestigt en versterkt de conclusies dat er geen veranderingen in de glioomincidentie in de Scandinavische landen zijn opgetreden die consistent zijn met een aanzienlijk risico dat kan worden toegeschreven aan het gebruik van mobiele telefoons. Dit geldt met name voor vrijwel alle gerapporteerde risicoverhogingen die door eerdere case-control studies als positief zijn gerapporteerd.

Opmerking van dr. De Waegeneer: Zelfrapportage van het gsmgebruik kan een vertekening opleveren.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

/

4 EXPERIMENTEEL ONDERZOEK BIJ MENSEN

/

5 ALGEMENE CONCLUSIE VAN DIT KWARTAAL

Het grootste deel van het epidemiologische onderzoek ondersteunt geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en tumoren van verschillende typen. Andere negatieve gezondheidseffecten worden ook niet overtuigend vastgesteld door wetenschappelijk bewijs omwille van methodoloische beperkingen. Bijkomend onderzoek naar deze aandoeningen moet opgevolgd worden.

REFERENTIES

Balmori, A. (2022) Environmental, 214, 113851. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113851
Prlic, I., Sisko, J., Varnai, V.M., et al. (2022) Arch Hig Rada Toksikol, 73, 94-106. https://doi.org/10.2478/aiht-2022-73-3402

Deltour, I. , Poulsen, A.H. , Johansen, C. , Feychting, M. , Børge Johannesen, T. , Auvinen, A., Schüz, J. Environment International 168 (2022) 107487 https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107487

Elwood, M., Win, S.S., Aye, P.S., Sanagou, M. (2022). Cancer Epidemiology, 80, 102234. https://doi.org/10.1016/j.canep.2022.102234

Farashi, S., Bashirian, S., Khazaei, S., Khazaei, M., Farhadinasab, A. (2022). International Archives for Occupational and Environmental Health, 95, 1587-1601. https://doi.org/10.1007/s00420-022-01835-x

Prlic, I., Sisko, J., Varnai, V.M., et al. (2022) Arch Hig Rada Toksikol, 73, 94-106. https://doi.org/10.2478/aiht-2022-73-3402

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het derde trimester van 2022 werden gepubliceerd.

Seppe Segers, Maryse Ledent, & Birgit Mertens
Sciensano, Dienst Risico- en Gezondheidsimpactevaluatie

1 REVIEWS

Yadav H, Sharma RS, Singh R. Immunotoxiciteit van radiofrequente straling [Immunotoxicity of radiofrequency radiation.] Environ Pollut. 2022;309:119793. doi:10.1016/j.envpol.2022.119793
Er zijn steeds meer aanwijzingen dat radiofrequente (RF) straling een nieuw type milieuvervuilende agens zou kunnen zijn. De gevolgen van RF straling op het menselijk immuunsysteem hebben de laatste jaren veel belangstelling gekregen, niet alleen om de mogelijke negatieve effecten op de gezondheid te onderzoeken, maar ook om te begrijpen of RF straling de immuunrespons positief kan moduleren. Hoewel er verschillende studies zijn gepubliceerd over de immuuneffecten van RF straling, werd er hierover nog geen consensus bereikt. Deze review beoogt daarom om de modulerende effecten van RF straling op bepaalde immuuncellen die bijdragen tot verschillende inherente (*innate*) of adaptieve immuunreacties te evalueren. In het licht van de bestaande evidentie hebben de auteurs een intracellulaire signaalcascade voorgesteld die verantwoordelijk zou zijn voor het onderliggend mechanisme van de effecten van RF straling. De biologische effecten van RF straling op de morfologie, levensvatbaarheid, proliferatie, integriteit van het genoom en immuunfuncties zoals ROS, cytokinesecretie, fagocytose, apoptose, enz. van immuuncellen worden besproken. De meeste studies wijzen in de richting van mogelijke veranderingen in de activiteit, het aantal en/of de functie van immunocompetente cellen, maar de resultaten van verscheidene studies zijn nog steeds tegenstrijdig en moeten verder worden bestudeerd om tot een conclusie te komen. Ook is het moeilijk om een rechtstreeks verband te leggen tussen experimentele studies en menselijke risico's aangezien de blootstellingsparameters in het echte leven variëren. Op basis van de recente beschikbare literatuur stellen de auteurs voor dat speciale experimenten moeten worden opgezet om elk specifiek signaal te testen dat in communicatietechnologieën wordt gebruikt. Volgens hun kan enkel op die manier de hypothese worden onderzocht dat langere blootstelling aan RF-apparaten de immuniteit zou aantasten door het induceren van genotoxische effecten in menselijke immuuncellen.

2 NEOPLASTISCHE ZIEKTEN

2.1 *IN VIVO* STUDIES

/

2.2 *IN VITRO* STUDIES

/

2.3 (ANTI-)GENOTOXICITEITS STUDIES

Sannino A, Scarfì MR, Dufossée M, et al. Inhibitie van autofagie onderdrukt radiofrequentie-geïnduceerde adaptieve respons in SH-SY5Y neuroblastoomcellen. [Inhibition of Autophagy Negates Radiofrequency-Induced Adaptive Response in SH-SY5Y Neuroblastoma Cells.] Int J Mol Sci. Sannino A, Scarfì MR, Dufossée M, et al. Inhibition of Autophagy Negates Radiofrequency-Induced Adaptive Response in SH-SY5Y Neuroblastoma Cells. Int J Mol Sci. 2022;23(15):8414. Gepubliceerd 2022 Jul 29. doi:10.3390/ijms23158414.

In de afgelopen jaren werd aangetoond dat radiofrequentie (RF) de DNA-schade die geïnduceerd wordt door een daaropvolgende behandeling met chemische of fysische agentia kan verminderen in verschillende celtypes. RF blootstelling zou dus kunnen leiden tot een adaptieve respons, een fenomeen dat goed gedocumenteerd is in de radiobiologie. Een dergelijk effect werd ook door andere auteurs beschreven, zowel in vitro als in vivo. Er werden ook verschillende plausibele hypothesen geformuleerd als mogelijke cellulaire mechanismen die door RF-voorblootstelling worden geactiveerd, gaande van de verstoring van de redoxstatus van de cel tot DNA-herstelmechanismen en stressresponsmechanismen. Deze mechanismen kunnen aan de basis liggen van het waargenomen verschijnsel van adaptieve respons en vereisen nader onderzoek. In deze studie werd nagegaan of autofagie bijdraagt tot de RF-geïnduceerde adaptieve respons. Daartoe werden SH-SY5Y menselijke neuroblastoomcellen gedurende 20 uur blootgesteld aan een UMTS-signaal van 1950 MHz en vervolgens behandeld met menadion. De verkregen resultaten wezen op een vermindering van de door menadion veroorzaakte DNA-schade, geëvalueerd aan de hand van de kometentest. De vermindering in DNA-schade werd tenietgedaan wanneer de autofagie werd geremd door bafilomycine A1 en E64d. Bovendien vertoonden CRISPR SH-SY5Y cellijnen met een defect voor ATG7 of ATG5 genen geen adaptieve respons. Deze bevindingen suggereren volgens de auteurs de betrokkenheid van autofagie bij de RF-geïnduceerde adaptieve respons in menselijke neuroblastoomcellen. Verder onderzoek is echter nodig om deze observatie op moleculair niveau uit te breiden.

3 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

3.1 *IN VIVO* STUDIES

Zhang SQY, Du PP, Shu X, et al. Het effect van blootstelling van zwangere ratten aan radiofrequente elektromagnetische velden op de morfologie van de hippocampus en de

zenuwgroeifactor van de nakomelingen [Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.] 2022;40(9):656-660. doi:10.3760/cma.j.cn121094-20210607-00281

Doelstelling: Het onderzoeken van de effecten van blootstelling van zwangere ratten aan radiofrequent elektromagnetisch velden op de ultrastructuur van de hippocampus en de niveaus van obesitas gerelateerd eiwit (FTO) en zenuwgroeifactor (NGF) in de nakomelingen.

Methoden: In september 2019 werden 36 gezonde Wistar ratten van 7 weken oud geselecteerd, waaronder 24 vrouwelijke ratten (150-200 g) en 12 mannelijke ratten (200-250 g). De mannelijke en vrouwelijke ratten werden samengezet in de kooi in een verhouding van 2:1 om 18:00 elke avond. Aan de hand van uitstrijkjes werd geëvalueerd of het sperma positief was en of de paring succesvol was. Deze dag werd beschouwd als dag 0 van de zwangerschap. Zwangere ratten werden willekeurig verdeeld in 3 experimentele groepen en 3 controlegroepen, met 4 ratten in elke groep. De experimentele groep werd blootgesteld aan respectievelijk 1 800 MHz, Wi-Fi en 1 800 MHz+Wi-Fi, en de drie controlegroepen werden virtueel blootgesteld. De blootstelling gebeurde 12 uur per dag gedurende 21 dagen in drie batchen. Na afloop van de blootstelling werden de nakomelingen van elke groep gedurende 7 weken opgevolgd. De ultrastructurele veranderingen van de hippocampus werden waargenomen met transmissie-elektronenmicroscopie, het FTO-niveau in de hippocampus werd bepaald met behulp van Western blot, en het NGF-niveau in het hersenweefsel werd bepaald met behulp van ELISA.

Resultaten: Transmissie-elektronenmicroscopie toonde aan dat de kernen van de cellen in het hippocampusweefsel van vrouwelijke en mannelijke ratten in de 1800 MHz-groep enigszins samengetrokken waren, het cytoplasma was licht oedeem, en de celkernen van mannelijke ratten waren duidelijk onregelmatig. In de nakomelingen van mannelijke en vrouwelijke ratten in de Wi-Fi-groep waren de celkernen in het hippocampusweefsel ernstig gekrompen, was het celmembraan onregelmatig en vertoonde het cytoplasma duidelijk oedeem. In de 1800 MHz+Wi-Fi groep, waren de celkernen in het hippocampusweefsel van zowel mannelijke als vrouwelijke nakomelingen ratten ernstig samengetrokken, het celmembraan was onregelmatig, en het cytoplasma was ernstig oedeem. Er was geen significant verschil in FTO waarde tussen de groepen ($P>0.05$). Vergeleken met andere groepen was het NGF-gehalte in de hippocampus van nakomelingenratten in de 1800 MHz+Wi-Fi groep significant hoger ($P<0,05$).

Conclusie: Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden beschadigt de morfologische structuur van het hippocampusweefsel van de nakomelingen en stimuleert de toename van NGF-expressie in de hippocampus.

Bektas H, Algul S, Altindag F, Yegin K, Akdag MZ, Dasdag S. Effecten van 3,5 GHz radiofrequente straling op ghreline, nesfatine-1, en irisine niveau in hersenen van gezonde ratten en van ratten met diabetes [Effects of 3.5 GHz radiofrequency radiation on ghrelin, nesfatin-1, and irisin level in diabetic and healthy brains] [published online ahead of print, 2022 Oct 8]. J Chem Neuroanat. 2022;126:102168. doi:10.1016/j.jchemneu.2022.102168

Diabetes, gsm-gebruik en obesitas zijn de laatste jaren gelijktijdig toegenomen. De radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) uitgezonden door mobiele telefoons worden grotendeels geabsorbeerd in het hoofd van de gebruiker. Met 5G, dat in sommige landen zonder de nodige voorzorgsmaatregelen in gebruik is genomen, zal de hoeveelheid RF-EMV waaraan levende wezens worden blootgesteld, toenemen. In deze studie werden de veranderingen in de energiehomeostase en de redoxbalans als gevolg van 5G (3,5 GHz, GSM-gemoduleerd) onderzocht. De effecten van RF-EMV op de hersenen van diabetische en gezonde ratten werden onderzocht en er werd een histopathologische analyse uitgevoerd. Achtentwintig Wistar albino-ratten van 200-250 g werden verdeeld in 4 groepen: sham, RF-EMV, diabetes en RF-EMV+diabetes (n = 7). De ratten in elke groep werden gedurende 30 dagen 2 uur per dag in een plexiglazen carrousel gehouden. Terwijl de ratten in de experimentele groepen gedurende 2 uur per dag werden

blootgesteld aan RF-EMV, werden de ratten in de shamgroep onder dezelfde experimentele omstandigheden gehouden, maar met de radiofrequentiegenerator uitgeschakeld. Aan het eind van het experiment werd hersenweefsel verzameld van geëuthanaseerde ratten. De totale hoeveelheid antioxidant (TAS), totale hoeveelheid oxidant (TOS), waterstofperoxide (H_2O_2), ghreline, nesfatine-1 en irisine werden bepaald. Bovendien werden histopathologische analyses van de hersenweefsels uitgevoerd. De stralingswaarde in de grijze stof van de hersenen werd berekend als 323 mW/kg en 195 mW/kg voor respectievelijk 1 en 10 g gemiddeld. Na blootstelling aan RF-EMV bij diabetische en gezonde ratten werden verlaagde TAS-niveaus en verhoogde TOS- en H_2O_2-niveaus waargenomen in het hersenweefsel. RF-EMV veroorzaakte stijgingen van ghreline en irisine en een daling van nesfatine-1 in de hersenen. Ook werd waargenomen dat RF-EMV het aantal gedegenereerde neuronen in de hippocampus deed toenemen. Onze resultaten wijzen erop dat 3,5 GHz RF-EMV veranderingen veroorzaakt in het energiemetabolisme en de eetlust van zowel gezonde als diabetische ratten. De auteurs concluderen op basis hiervan dat 5G mogelijk niet onschuldig is wat betreft de biologische effecten, vooral in aanwezigheid van diabetes.

3.2 *IN VITRO* STUDIES

/

4 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

4.1 *IN VIVO* STUDIES

Cantürk Tan F, Yalçin B, Yay AH, Tan B, Yeğin K, Daşdağ S. Effecten van pre- en postnatale 2450 MHz continue golf (CW) radiofrequente straling op de thymus: blootstelling van vier generaties. [Effects of pre and postnatal 2450 MHz continuous wave (CW) radiofrequency radiation on thymus: Four generation exposure.] Electromagn Biol Med. 2022;41(3):315-324. doi:10.1080/15368378.2022.2079673

Deze studie onderzoekt de effecten van pre- en postnatale 2450 MHz continue golf (CW) radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op de thymus van ratten over vier generaties. Er werden vier groepen gemaakt; sham, bestraald vrouwtje, bestraald mannetje, bestraald mannetje en vrouwtje, elk bestaande uit vier ratten (één mannetje en drie vrouwtjes). Tijdens het experiment werden de ratten in de blootstellingsgroepen gedurende 12 uur per dag blootgesteld aan 2450 MHz CW-RF-EMV. De bestraling begon een maand voor de bevruchting in de experimentele groep. Toen de nakomelingen twee maanden oud waren, werden vier ratten, één mannetje en drie vrouwtjes, toegewezen voor de tweede-generatiestudie. De resterende nakomelingen werden onder algemene verdoving gedood en hun thymus werd verwijderd. Dezelfde procedure werd toegepast op de volgende generatie. Twee maanden na de geboorte van de tweede generatie werden ratten van de derde generatie onthoofd en werden hun thymus verwijderd. In alle groepen konden cortex, medulla en residente cellen duidelijk worden onderscheiden in de tweede en derde generatie. Er werden geen verschillen waargenomen tussen de controle- en de twee experimentele groepen, gedefinieerd als bestraalde vrouwtjes en bestraalde mannetjes. Daarentegen werd vascularisatie waargenomen in de thymus van de vierde generatie nakomelingen van de groep waarin zowel mannetjes als vrouwtjes werden bestraald. Het aantal nakomelingen en het gewicht van alle ratten nam af in de derde generatie groep. De auteurs concluderen op basis hiervan dat pre- en postnatale blootstelling aan 2450 MHz continue radiofrequente straling mogelijk de thymus van toekomstige generaties kan aantasten.

4.2 *IN VITRO* STUDIES

/

5 ANDERE EFFECTEN

5.1 *IN VIVO* STUDIES

/

5.2 *IN VITRO* STUDIES

Kim K, Lee YS, Kim N, Choi HD, Lim KM. 5G elektromagnetische straling vermindert melanogenese van de huid *in vitro* door onderdrukking van ROS-generatie [5G Electromagnetic Radiation Attenuates Skin Melanogenesis *In Vitro* by Suppressing ROS Generation.] Antioxidanten (Bazel). 2022;11(8):1449. Gepubliceerd 2022 Jul 26. doi:10.3390/antiox11081449. Onlangs zijn de mogelijke effecten van 5G elektromagnetische velden (EMV) met 28 GHz op de menselijke gezondheid onder de publieke aandacht gekomen met de komst van 5G draadloze communicatie. Hier rapporteren de auteurs dat 5G (28 GHz) EMV de huidpigmentatie kan verminderen in muriene melanoomcellen (B16F10) en een 3D gepigmenteerd menselijk epidermismodel (Melanoderm™). B16-cellen werden blootgesteld aan 5G (28 GHz) met of zonder α-MSH gedurende 4 uur per dag. Interessant genoeg verminderde 5G de door α-MSH geïnduceerde melaninesynthese. Fontana-Masson-kleuring bevestigde dat de dendritische vorming van door α-MSH gestimuleerde B16-cellen werd verminderd door blootstelling aan 5G. Om het anti-melanogene effect van 5G EMV te bevestigen, werd MelanoDerm™ bestraald met 5G bij een vermogensintensiteit van 10 W/m2 gedurende 4 uur per dag gedurende 16 dagen en werd de melaninedistributie gedetecteerd met Fontana-Masson-kleuring, wat het anti-melanogene effect van 5G EMV ondersteunde. Overeenkomstig onderdrukte 5G EMV de α-MSH geïnduceerde regulatie van melanogene enzymen: tyrosinase, TRP-1 en TRP-2. Opmerkelijk is dat 5G EMV de door α-MSH en H_2O_2 gestimuleerde productie van reactieve zuurstofsoorten (ROS) verminderde, hetgeen suggereert dat 5G EMV de ROS-productie, die cruciaal is voor de melaninesynthese, kan afremmen. De auteurs concluderen op basis van hun resultaten dat 5G EMV een impact kan hebben op de huidpigmentatie door het beïnvloeden van ROS-generatie.

ALGEMENE OPMERKINGEN

Dit verslag is gebaseerd op vijf experimentele studies en één review over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden. Van één experimentele studie (Cantürk et al.) kon de volledige tekst niet worden teruggevonden. Bovendien was één manuscript alleen beschikbaar in het Chinees (Zhang et al.) en daarom kon alleen het Engelse abstract worden beoordeeld. De abstracts van deze twee studies zijn voor de volledigheid in dit verslag opgenomen.

In de review van Yadav et al. werd een overzicht gegeven van het onderzoek naar het effect van RF op het genetisch materiaal in immuuncellen en op de immuunrespons, zowel *in vivo* als *in vitro*. De auteurs concluderen dat de beschikbare onderzoeksresultaten erop wijzen dat blootstelling aan RF leidt tot mogelijke veranderingen in de structuur, de activiteit/functie en/of het aantal immunocompetente cellen. Zij benadrukken echter ook dat er een aantal methodologische problemen zijn in de studies die werden opgenomen in hun review, zoals het ontbreken van nauwkeurige temperatuurcontrole, de rapportering van tegenstrijdige resultaten zowel binnen hetzelfde experiment als tussen verschillende experimenten, enz. De auteurs leggen daarom nog eens de nadruk op het belang en de noodzaak van onderzoek van hoge kwaliteit. In het algemeen concluderen Yadav et al. dat de beschikbare onderzoeken onvoldoende zijn om het effect van RFR op het immuunsysteem te begrijpen. Ook moet worden opgemerkt dat de auteurs geen systematische review hebben uitgevoerd en geen commentaar hebben gegeven op de kwaliteit van de afzonderlijke studies, afgezien van hun inclusiecriteria. Deze publicatie moet daarom eerder worden beschouwd als een inventaris van de beschikbare studies.
De meeste experimentele studies die in dit verslag zijn opgenomen vertoonden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies omvatten geen of slechte dosimetriemetingen (Kim et al.) of gebruikten blootstellingsmodulaties die niet frequent worden gehanteerd, zoals continue golfblootstelling of GSM-modulatie in 5G-frequenties (Bektas et al., Cantürk et al.). Bij sommige studies was het onduidelijk of de juiste sham-condities werden gebruikt (Kim et al.). De meeste studies bevatten ook geen goede geblindeerde testomstandigheden (Kim et al., Bektas et al.). Bovendien werd in de meeste experimenten (Kim et al., Bektas et al.) de temperatuur van het staal (ofwel de lichaamstemperatuur in het geval van *in vivo* studies, ofwel de mediumtemperatuur in het geval van *in vitro* studies) niet gecontroleerd, zodat geen rekening kon worden gehouden met mogelijke opwarming van het staal als gevolg van de RF-EMF. Voor de meeste studies werd de omgevingstemperatuur in de ruimte gecontroleerd.
Bovendien kon, zoals eerder vermeld, voor de publicaties van Cantürk et al. en Zhang et al. alleen het abstract worden gebruikt voor de evaluatie, zodat de kwaliteitscriteria niet volledig konden worden beoordeeld.
Eén studie (Sannino et al.) voldeed aan alle kwaliteitscriteria, waaronder correcte dosimetrie, blootstellingsomstandigheden, temperatuurmetingen en blinde blootstelling. De auteurs onderzochten de inductie van een adaptieve respons op RF-EMF-blootstelling die resulteert in een verminderde gevoeligheid voor DNA-schade. Zij stelden vast dat blootstelling aan RF-EMF de door menadion geïnduceerde DNA-schade in gezonde cellen kon verminderen. Wanneer autofagie werd onderdrukt, hetzij door het uitschakelen van specifieke autofagie-gerelateerde genen, hetzij door chemische onderdrukking van autofagie, werd deze vermindering opgeheven. Deze bevindingen suggereren de betrokkenheid van autofagie bij de RF-geïnduceerde adaptieve respons in menselijke neuroblastoomcellen.
Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks in verband te brengen met de mogelijke impact op de humane gezondheid, aangezien de relevantie van *in vitro* of bij proefdieren waargenomen effecten voor de mens vaak niet duidelijk is. De experimentele studies moeten ook onafhankelijk worden gerepliceerd om de geldigheid van de resultaten te waarborgen.
In de nabije toekomst zullen de in opdracht van de WHO uitgevoerde systematische evaluaties met meta-analyses over uiteenlopende gezondheidseffecten worden gepubliceerd. In deze reviews zal rekening worden gehouden met alle studies naar kanker, schadelijke gevolgen voor de voortplanting, cognitieve stoornissen, aspecifieke symptomen, oxidatieve stress en verhitting-gerelateerde ziekten. Dit moet ons meer inzicht geven in welke onderwerpen nader moeten worden bestudeerd.

Op basis van de resultaten van de studies die we presenteren in dit verslag kunnen wij geen conclusies trekken over de impact van RF op de humane gezondheid. Zoals door verscheidene auteurs van de artikels opgenomen in dit verslag werd opgemerkt, blijft het belangrijk om de methodologische kwaliteit van de experimentele studies in aanmerking te nemen alvorens conclusies te trekken over gezondheidseffecten.

Overzicht van de epidemiologische en humaan-experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het vierde trimester van 2022 werden gepubliceerd.

dr. Els De Waegeneer
Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg
Universiteit Gent

1 REVIEWS EN META-ANALYSES

1.1 RECENT ONDERZOEK NAAR EMF EN GEZONDHEIDSRISICO'S: ZESTIENDE RAPPORT VAN SSM'S SCIENTIFIC COUNCIL ON ELECTROMAGNETIC FIELDS, 2021.

Auteurs: De Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van de Zweedse autoriteit voor stralingsveiligheid (2022). www.ssm.se

Achtergrond en doelstelling: De Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van de Zweedse Autoriteit voor stralingsveiligheid monitort het huidige onderzoek naar potentiële gezondheidsrisico's in verband met blootstelling aan elektromagnetische velden en geeft de autoriteit advies over het beoordelen van mogelijke gezondheidsrisico's. De Raad geeft richting wanneer de autoriteit een advies moet uitbrengen over beleidsaangelegenheden. De raad is verplicht jaarlijks een schriftelijk verslag in te dienen over de huidige onderzoeks- en kennissituatie. Dit is een consensusrapport, wat betekent dat alle leden van de Wetenschappelijke Raad het eens zijn met het volledige rapport. Dit verhoogt de kracht van de gegeven conclusies. Het rapport heeft als hoofddoel het onderzoek van het voorgaande jaar op het gebied van elektromagnetische velden (EMV) en gezondheid te behandelen, maar ook om dit in de context van de huidige kennis te plaatsen. Het rapport geeft de autoriteiten een overzicht en biedt een belangrijke basis voor risicobeoordeling.

Methoden: Dit rapport bespreekt studies over elektromagnetische velden en gezondheidsrisico's, gepubliceerd van januari 2020 tot en met december 2020. Het rapport is het zestiende in een reeks jaarlijkse wetenschappelijke evaluaties die achtereenvolgens relevante nieuwe studies bespreken en beoordelen en deze in de context van beschikbare informatie plaatsen. Het rapport bestrijkt verschillende gebieden van EMV (statische, laagfrequente, intermediaire en radiofrequente velden) en verschillende soorten studies zoals biologische, menselijke en epidemiologische studies. Het resultaat is een geleidelijk ontwikkelende gezondheidsrisicobeoordeling van blootstelling aan EMV zijn.

Resultaten en conclusie: Er zijn geen nieuwe oorzakelijke verbanden tussen blootstelling aan EMV en gezondheidsrisico's vastgesteld. Er is slechts een zeer beperkte hoeveelheid nieuw onderzoek gepubliceerd naar het tumorrisico in relatie tot het gebruik van mobiele telefoons. Associaties tussen het gebruik van mobiele telefoons en slapeloosheid-achtige symptomen zijn waargenomen zoals in voorgaande jaren. Slapeloosheid was echter eerder geassocieerd met de gebruiksperiode

dan met het niveau van blootstelling aan straling. Dit suggereert dat andere factoren dan RF-EMF de waargenomen associatie kunnen verklaren. Dergelijke factoren kunnen bijvoorbeeld stress of andere gedragsfactoren zijn. Voor slapeloosheid-achtige symptomen werd een significante interactie gevonden in een studie tussen RF-EMV-blootstelling van basisstations voor mobiele telefoons en milieuproblemen, wat wijst op communicatiebehoeften met het publiek over mogelijke gezondheidsrisico's van het basisstation van mobiele telefoons. Nieuwe studies bij adolescenten naar cognitieve functies en hersenvolume wijzen niet op een risico van RF-EMV-blootstelling.

1.2 STUDIES VAN PERSOONLIJKE BLOOTSTELLING AAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN: EEN SYSTEMATISCHE REVIEW.

Auteurs: Ramirez-Vazquez, R. , Escobar, I., Vandenbosch, G. Vargas, F., Caceres-Monllor, D., Arribas, E. (2022). Environmental Health. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114979

Achtergrond en doelstelling: De afgelopen 25 jaar is het aantal radiofrequentiebronnen toegenomen met de wereldwijde acceptatie van smartphones als primaire connectiviteitsapparaten. Het doel van dit werk was om de studies van persoonlijke blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden te beoordelen, te evalueren en na te gaan of z voldoen aan de basiskwaliteitscriteria voor opname in deze review, volgens de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) richtlijnen, volgens de criteria van de PECO (Population, Exposure, Comparator, en Outcome) methodologie, en het instrument voor kritisch lezen Critical Appraisal Skills Programme Espanol (CASPe).

Methoden: De auteurs beoordeelden systematisch de werken gepubliceerd tussen 1 januari 1998 en 31 december 2021, wat 56 publicaties opleverde. Van de verschillende soorten studies waarin persoonlijke blootstelling aan RF-EMV is gemeten met twee meetmethoden, worden de volgende benadrukt: persoonlijke metingen met vrijwilligers en persoonlijke metingen met een getrainde onderzoekers (het verkennen van een specifiek gebied, een of meerdere micro-omgevingen, een hele stad, lopend of in een vervoermiddel).

Resultaten: Persoonlijke exposimeters werden gebruikt in 83% van de studies. Het laagste gemiddelde werd gemeten in Egypte met een waarde van 0,00100 µW/m2 (1,00 nW/m2) in 2007 en het hoogste gemiddelde werd gemeten in België met een waarde van 285000 µW/m2 (0,285 W/m2) in 2019.

Conclusie: De resultaten van deze studie bevestigen dat de RF-EMV-blootstellingsniveaus ver onder de maximumniveaus liggen die zijn vastgesteld in de ICNIRP-richtlijnen.

2 GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS

2.1 EFFECT VAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING UITGEZONDEN DOORCMODERNE MOBIELE TELEFOONS OP DE BEWEEGLIJKHEID EN LEVENSVATBAARHEID VAN HET SPERMA: EEN IN VITRO STUDIE

Auteurs: Chu, K.Y., Khodamoradi, K., Blachman-Braun, R., Dullea, A., Bidhan, J., Campbell, K. et al. (2022). European Urology Focus, in druk. https://doi.org/10.1016/j.euf.2022.11.004

Achtergrond en doelstelling: Mobiele telefoons zenden radiofrequente elektromagnetische straling uit voor de overdracht van gegevens voor communicatie op sociale media, surfen op het web en muziek / podcaststreaming. Het gebruik van Bluetooth-oordopjes heeft waarschijnlijk de tijd verlengd waarin mobiele telefoons verblijven in de broekzakken van mannen. Er is gepostuleerd dat RF-EMV de oxidatieve stress verhoogt en de vorming van vrije radicalen induceert. Deze studie wilde het effect onderzoeken van draadloos spectrum (4G, 5G en WiFi) RF-EMV uitgezonden door moderne smartphones op de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma en onderzoeken of deze effecten kunnen worden verzacht met behulp van een fysieke barrière of afstand.

Methoden: Spermamonsters werden verkregen van vruchtbare normozoospermische mannen in de leeftijd van 25-35 jaar. Een smartphone van de huidige generatie in gespreksmodus werd gebruikt als rf-emr-bron. Een WhatsApp-spraakoproep werd gemaakt met behulp van 4G-, 5G- of WiFi-draadloze connectiviteit. Ze bepaalden of de blootstellingseffecten werden verzacht door een hoesje voor mobiele telefoons of een grotere afstand tot het spermamonster. De spermamonsters werden geanalyseerd volgens de laboratoriumrichtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie uit 2010. Statistische analyse werd uitgevoerd met behulp van SPSS v.28.

Resultaten: De auteurs observeerden afnames in de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma met Blootstelling aan WiFi, maar niet met blootstelling aan 4G of 5G RF-EMR. Met grote variabiliteit tussen smartphones is verder onderzoek naar blootstellingseffecten nodig.

Conclusies: Deze verkennende studie onthulde dat de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma negatief worden beïnvloed door smartphones die het WiFi-spectrum gebruiken voor gegevensoverdracht.

Opmerking van dr. De Waegeneer: Hoewel de studie nogal wat methodologische beperkingen heeft, stellen de auteurs stellig dat mobiele telefoons die WiFi-connectiviteit gebruiken voor gegevensgebruik schadelijke effecten hebben op de spermakwaliteit bij mannen. Deze conclusie is echter te verregaand op basis van deze ene studie en gezien de beperkingen die er zijn.

2.2 EFFECT VAN REPRODUCTIEVE EN LEEFSTIJLFACTOREN OP ANTI-MULLERIAANSE HORMOONSPIEGELS BIJ VROUWEN VAN INDIASE AFKOMST.

Auteurs: Banerjee, K., Thind, A., Bhatnagar, N. et al. (2022). Journal of Human Reproductive Science, 15, 259-271. https://www.jhrsonline.org/text.asp?2022/15/3/259/357674

Achtergrond en doelstelling: Onvruchtbaarheid is een wereldwijd probleem en komt voor bij een derde van alle vrouwen. In de loop der jaren is anti-Mulleriaans hormoon (AMH) naar voren geschoven als een belangrijke marker van de ovariële reserve. Er is ook een toenemende belangstelling voor het bepalen van de factoren die van invloed kunnen zijn op de AMH-niveaus. Deze studie was gericht ophet correleren van de associatie van reproductieve en levensstijlfactoren op AMH-niveaus bij vrouwen van Indiase afkomst.

Methoden: Een multicentrische cross-sectionele studie werd uitgevoerd met behulp van gegevens geëxtraheerd uit de patiëntendossiers van zeven particuliere vruchtbaarheidspraktijken in Noord-India. Vrouwen die deze klinieken bezochten voor vruchtbaarheidsbehandeling werden gevraagd om de vragenlijst in te vullen met betrekking tot reproductieve en levensstijlfactoren. De uitkomstvariabele was het niveau van AMH gemeten in de afgelopen 3 maanden en werd beoordeeld als normaal of laag. Alle analyses werden uitgevoerd met STATA 17.

Resultaten en conclusie: De auteurs vonden een directe associatie van lage AMH met toenemende leeftijd, korte cycli, amenorroe en vrouwen met een familiegeschiedenis van vroegtijdige menopauze. Ze vonden een directe correlatie van hoge AMH en vrouwen met polycysteus ovariumsyndroom en degenen van wie de partners Oligoasthenoteratozoospermie (OATS) of azoöspermie hadden. Er was geen correlatie met roken, slaap, dieet, body mass index, gebruik van mobiele telefoons of laptops in onze studie.

Opmerking van dr. De Waegeneer: De blootstellingsbeoordeling is onderworpen aan verschillende vooroordelen, zoals recall bias en sociaal wenselijke antwoorden.

2.3 DE ASSOCIATIE TUSSEN ZELFGERAPPORTEERD GEBRUIK VAN MOBIELE TELEFOONS MET BLOEDDRUK EN HARTSLAG: BEWIJS UIT EEN CROSS-SECTIONELE STUDIE.

Auteurs: Amiri, F., Moradinazar, M., Moludi, J., Pasdar, Y., Najafi, F., Shakiba, E., Hamzeh, B., Saber, A. (2022). BMC Public Health, 22, 2031. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14458-1

Achtergrond en doelstelling: Met de vooruitgang van de technologie is de snelheid van toegang tot en het gebruik van mobiele telefoons in verschillende gemeenschappen aanzienlijk toegenomen. Mobiele telefoons zenden elektromagnetische golven uit en daarom kan overmatig gebruik ervan schadelijke effecten hebben op de fysieke en mentale gezondheid en vooral op het cardiovasculaire systeem. Deze studie was gericht op het onderzoeken van de associatie tussen zelfgerapporteerde

gebruiksduur van mobiele telefoons en bloeddruk en hartslag (HR) met behulp van gegevens van Ravansar niet-overdraagbare ziekten (RaNCD) cohortstudie.

Methoden: De huidige cross-sectionele studie werd uitgevoerd met behulp van de gegevens van 8905 van de 10.065 deelnemers aan de RaNCD-studie in Iran. Volgens de gemiddelde zelfgerapporteerde duur van het gebruik van mobiele telefoons (min / dag) in de afgelopen 12 maanden, werden alle gebruikers verdeeld in vier groepen. De eerste en vierde groep hadden respectievelijk de minste en de meeste tijd met mobiele telefoons. De relatie tussen bloeddruk en de duur van het gebruik van mobiele telefoons werd bepaald met behulp van univariate en meervoudige lineaire regressie.

Resultaten: Van de 8905 deelnemers in de leeftijd van 35-65 jaar gebruikten 1515 (17,0%) van hen geen mobiele telefoons. De minimale, maximale en gemiddelde duur van zelfgerapporteerd gebruik van mobiele telefoons tussen gebruikers was respectievelijk 3,4, 50,4 en 195 min / dag. Een daling van de systolische en diastolische bloeddruk van vrouwen (SBP en DBP) en HR werd waargenomen door de duur van het gebruik van mobiele telefoons te verlengen. Met correctie voor effectieve verstorende factoren was er een significant negatief verband tussen SBP [-2,52 (-4,11, -0,94)], DBP [-1,86 (-2,83, -0,89)] en de duur van mobiel gebruik.

Conclusie: In deze studie werd een significante dalende trend gevonden tussen SBP, DBP en HR en een hoger gebruik van mobiele telefoons bij vrouwen. Op basis van regressieanalyse werden SBP, DBP en de duur van het gebruik van mobiele telefoons negatief geassocieerd bij degenen die hun telefoons gedurende ten minste 8 uur gebruikten.

Opmerking van dr. De Waegeneer: De blootstellingsbeoordeling in deze studie laat veel beperkingen zien. Daarnaast kunnen er ook confounders een rol spelen, zoals de inhoud en toon van de gesprekken. Daarom moeten de resultaten en conclusies met de nodige voorzichtigheid worden bekeken.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

/

4 EXPERIMENTEEL ONDERZOEK BIJ MENSEN

/

ALGEMENE CONCLUSIE VAN DIT KWARTAAL

Het grootste deel van het epidemiologische onderzoek ondersteunt geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en tumoren van verschillende typen. Andere negatieve gezondheidseffecten worden ook niet overtuigend vastgesteld door wetenschappelijk bewijs omwille van methodoloische beperkingen. Bijkomend onderzoek naar deze aandoeningen moet opgevolgd worden.

REFERENTIES

Amiri, F., Moradinazar, M., Moludi, J., Pasdar, Y., Najafi, F., Shakiba, E., Hamzeh, B., Saber, A. (2022). The association between self-reported mobile phone usage with blood pressure and heart rate: evidence from a cross-sectional study. *BMC Public Health, 22*, 2031. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14458-1

Banerjee, K., Thind, A., Bhatnagar, N. et al. (2022). Effect of reproductive and lifestyle factors on anti-mullerian hormone levels in women of Indian origin. *Journal of Human Reproductive Science, 15*, 259-271. https://www.jhrsonline.org/text.asp?2022/15/3/259/357674

Chu, K.Y., Khodamoradi, K., Blachman-Braun, R., Dullea, A., Bidhan, J., Campbell, K. et al. (2022). Effect of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Emitted bycModern Cellphones on Sperm Motility and Viability: An In Vitro Study. *European Urology Focus,* in press. https://doi.org/10.1016/j.euf.2022.11.004

Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Vandenbosch, G. Vargas, F., Caceres-Monllor, D., Arribas, E. (2022). Measurement studies of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A systematic review. *Environmental Research*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114979

The Swedish Radiation Safety Authority's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2022). *Recent Research on EMF and Health Risk: Sixteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2021*. www.ssm.se

Overzicht van de experimentele studies betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het vierde trimester van 2022 werden gepubliceerd.

Seppe Segers, Maryse Ledent, & Birgit Mertens
Sciensano, Dienst Risico- en Gezondheidsimpactevaluatie

1 REVIEWS

Balmori A. Bewijs voor een gezondheidsrisico door RF bij mensen die rond basisstations voor mobiele telecommunicatie wonen: Van radiofrequentie ziekte tot kanker. Environ Res. 2022 Nov;214(Pt 2):113851. doi: 10.1016/j.envres.2022.113851. Epub 2022 Jul 14. PMID: 35843283.

Het doel van dit werk was om een volledige review te doen van de bestaande wetenschappelijke literatuur om de kennis over de effecten van basisstationantennes op mensen te actualiseren. Studies uitgevoerd in reële stedelijke omstandigheden, met basisstations voor mobiele telefonie in de buurt van appartementen, werden geselecteerd voor de review. De algemene resultaten van deze review wijzen op drie soorten effecten van basisstationantennes op de gezondheid van mensen: radiofrequentieziekte (RS), kanker (C) en veranderingen in biochemische parameters (CBP). Wanneer alle onderzochte studies in hun geheel worden beschouwd (n=38), heeft 73,6% (28/38) effecten aangetoond: 73,9% (17/23) voor radiofrequentieziekte, 76,9% (10/13) voor kanker en 75,0% (6/8) voor veranderingen in biochemische parameters. Bovendien leverden studies die niet voldeden aan de strikte voorwaarden om in deze review te worden opgenomen, belangrijk aanvullend bewijsmateriaal op. Het optreden van vergelijkbare effecten in studies met verschillende bronnen (maar met RF met vergelijkbare kenmerken), zoals radar, radio- en televisieantennes, draadloze slimme meters en laboratoriumstudies, versterken de conclusies van deze review. Van bijzonder belang zijn de studies die werden uitgevoerd op dieren of bomen in de buurt van antennes van basisstations die zich niet bewust zijn van hun nabijheid en waaraan bijgevolg nooit psychosomatische effecten kunnen worden toegeschreven.

2 NEOPLASTISCHE ZIEKTEN

2.1 IN VIVO STUDIES

/

2.2 IN VITRO STUDIES

Olejárová S, Moravčík R, Herichová I. 2,4 GHz elektromagnetisch veld beïnvloedt de respons van de circadiane oscillator in de colorectale kankercellijn DLD1 op miR-34a-gemedieerde regulering.

Int J Mol Sci. 2022 Oct 30;23(21):13210. doi: 10.3390/ijms232113210. PMID: 36361993; PMCID: PMC9656412.

Radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) oefenen pleiotrope effecten uit op biologische processen, waaronder het circadiaans ritme. miR-34a is een klein niet-coderend RNA waarvan de expressie wordt gemoduleerd door RF-EMV en dat het vermogen heeft om de expressie van klokgenen te reguleren. Interferentie tussen RF-EMV en miR-34a-gemedieerde regulering van de circadiane oscillator is echter nog niet opgehelderd. Daarom werd in de huidige studie nagegaan of 24 uur blootstelling aan 2,4 GHz RF-EMV invloed heeft op miR-34a-geïnduceerde veranderingen in klokgenexpressie, migratie en proliferatie in de colorectale kankercellijn DLD1. Het effect van up- of downregulatie van miR-34a op DLD1-cellen werd geëvalueerd met behulp van real-time PCR, de krasproef en de MTS-test. Toediening van miR-34a verminderde de expressie van per2, bmal1, sirtuin1 en survivin en remde de proliferatie en migratie van DLD1-cellen. Wanneer miR-34a getransfecteerde DLD1-cellen werden blootgesteld aan 2,4 GHz RF-EMV, werd een toename van cry1-mRNA-expressie waargenomen. Het remmende effect van miR-34a op per2 en survivin werd respectievelijk afgezwakt of verdween volledig. Het effect van miR-34a op proliferatie en migratie werd geëlimineerd door blootstelling aan RF-EMV. De conclusie is dat RF-EMV een sterke invloed had op de regulering door de tumorsuppressor miR-34a van de perifere circadiane oscillator in DLD1-cellen.

3 (ANTI-)GENOTOXICITEITS STUDIES

Kucukbagriacik Y, Dastouri M, Ozgur-Buyukatalay E, Akarca Dizakar O, Yegin K. Onderzoek naar oxidatieve schade, antioxidantbalans, DNA-herstelgenen en apoptose als gevolg van radiofrequentie-geïnduceerde adaptieve respons bij muizen. Electromagn Biol Med. 2022;41(4):389-401. doi:10.1080/15368378.2022.2117187

Deze studie had tot doel om na te gaan of blootstelling aan niet-ioniserende radiofrequente velden een adaptieve respons (AR) kan induceren bij volwassen muizen en om potentiële moleculaire mechanismen te onthullen die door RF-geïnduceerde AR in gang worden gezet. De studie werd uitgevoerd op 24 volwassen mannelijke Zwitserse-Albino muizen. De gemiddelde massa van de muizen was 37 g. Er werden vier groepen volwassen muizen gevormd, elk bestaande uit 6 dieren. De radiofrequentiegroep (R) en de adaptieve responsgroep (RB) werden blootgesteld aan 900 MHz signaal van het wereldwijde systeem voor mobiele communicatie (GSM) bij 0,339 W/kg (stralingswaarde, 1 g gemiddelde specifieke absorptieratio) 4 uur/dag gedurende 7 dagen, terwijl de controlegroep (C) en de bleomycinegroep (B) niet werden blootgesteld. 20 minuten na de laatste blootstelling aan het radiofrequente veld (RF) kregen de muizen in de B- en RB-groepen intraperitoneaal (ip) bleomycine (BLM) geïnjecteerd, 37,5 mg/kg. Alle dieren werden 30 minuten na de BLM-injectie gedood. Oxidatieve schade en het antioxidantmechanisme werden vervolgens onderzocht in de bloedstalen. In het leverweefsel werden veranderingen vastgesteld in de expressie van de genen die betrokken zijn bij DNA-herstel. De TUNEL-methode werd gebruikt om de door DNA-fragmentatie ontstane apoptose in het leverweefsel te bepalen. De RB-groep, die een adaptieve respons vertoonde, werd vergeleken met de controlegroep. Volgens de resultaten kan de toename van reactieve zuurstofsoorten (ROS) in de RB-groep een belangrijke rol hebben gespeeld bij het op gang brengen van de AR en het produceren van het vereiste minimale stressniveau. Daarnaast waren de niveaus van tumorsuppressor 53 (p53) en oxo guanine DNA-glycosylase (OGG-

1), die verantwoordelijk zijn voor de expressie van genen van het DNA-herstelmechanisme, verhoogd in samenhang met de toename van ROS. De verandering in de poly (ADP-ribose) polymerase 1 (PARP-1) en glutathionperoxidase 1 (GPx-1) genexpressie was statistisch niet significant. De niveaus van de anti-oxidatieve enzymen superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) en totale antioxidatieve capaciteit (TAC) daalden in de groep met AR. Volgens de gegevens van de terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP nick end labeling (TUNEL)-analyse was de apoptose in de RB-groep afgenomen als gevolg van de afname van de celdood, die het gevolg zou kunnen zijn van een toename van de genexpressie die verantwoordelijk is voor DNA-herstelmechanismen. De resultaten van deze studie tonen volgens de auteurs aan dat blootstelling aan RF-straling een beschermende reactie tegen bleomycine kan induceren. De minimale oxidatieve stress als gevolg van de RF-blootstelling leidt tot een AR in de genen die een rol spelen in het DNA-herstelmechanisme en enzymen, waardoor de cel kan overleven.

4 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

4.1 IN VIVO STUDIES

Kopani M, Panik J, Filova B, et al. PIXE-analyse van ijzer in het cerebellum van konijnen na blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden. Bratisl Lek Listy. 2022;123(12):864-871. doi:10.4149/BLL_2022_138

De auteurs onderzochten ijzeraccumulatie en de mogelijke onderliggende mechanismen in het cerebellum van konijnen na blootstelling aan zowel echte GSM als opgewekte radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) met behulp van inductief gekoppelde plasmamassaspectrometrie (ICP-MS) en door deeltjes geïnduceerde röntgenemissie (PIXE). Vier groepen konijnen werden blootgesteld aan de echte EMV, de opgewekte EMV, een combinatie van de echte en de opgewekte signalen en de controlegroep zonder blootstelling. Voor de bepaling van de ijzerconcentratie in de cerebellumstalen van de vier groepen werd ICP-MS gebruikt. IJzeraccumulatie in de stalen werd uitgevoerd door middel van PIXE-analyse met behulp van de 3 MeV protonenbundel.
De met ICP-MS gemeten ijzerconcentratie vertoonde geen significante verschillen voor alle groepen. PIXE-resultaten toonden een focale ophoping van ijzer met een grootte tot 3 mm. De hoogste concentratie ijzer werd waargenomen na blootstelling aan het echte signaal. De auteurs suggereren dat de ijzeraccumulatie na blootstelling aan RF-EMV niet het gevolg is van een hogere permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière en het weglekken van ijzer uit de bloedbaan naar de hersencellen en -weefsels. Het zou het resultaat kunnen zijn van de aanlevering van ijzer en de herverdeling ervan in het weefsel (Fig. 2, Ref. 86).

Singh KV, Prakash C, Nirala JP, Nanda RK, Rajamani P. Acute radiofrequente elektromagnetische straling schaadt neurogenese en veroorzaakt neuronale DNA-schade in de hersenen van jonge ratten [published online ahead of print, 2022 Nov 3]. Neurotoxicology. 2022;S0161-813X(22)00174-7. doi:10.1016/j.neuro.2022.11.001

Een mobiele telefoon is tegenwoordig een algemeen gebruikt apparaat voor digitale media en communicatie onder alle leeftijdsgroepen. Jonge adolescenten gebruiken het gedurende langere

tijd, waardoor ze worden blootgesteld aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV). Deze blootstelling zou kunnen leiden tot neuropsychiatrische veranderingen. Het onderliggende cellulaire mechanisme achter deze veranderingen vereist gedetailleerd onderzoek. In de huidige studie onderzochten de auteurs het effect van RF-EMV afkomstig van mobiele telefoons op de hersenen van jonge adolescente ratten. Wistar ratten (5 weken, mannelijk) werden blootgesteld aan RF-EMV signaal (2.115MHz) bij een gemiddelde stralingswaarde (SAR) van 1.51W/kg continu gedurende 8 uur. In de hersenen van aan RF-EMV blootgestelde ratten werd een hoger niveau van lipideperoxidatie, koolstof-gecentreerde lipide radicalen en enkelstrengige DNA-schade waargenomen. Het aantal BrdU-positieve cellen in de dentate gyrus (DG) nam af bij aan RF-EMV blootgestelde ratten, wat wijst op verminderde neurogenese. Blootstelling aan RF-EMV veroorzaakte ook degeneratieve veranderingen en neuronaal verlies in de DG-neuronen, maar had geen effect op de CA3- en CA1-neuronen van de hippocampus en de hersenschors. De activiteit van Pro-caspase3 nam bij blootstelling in geen van de hersengebieden toe, hetgeen erop wijst dat de in de DG-regio waargenomen degeneratie niet afhankelijk is van caspase-activering. De resultaten wijzen erop dat kortdurende acute blootstelling aan RF-EMV de generatie van koolstof-gecentreerde lipidenradicalen en nucleaire DNA-schade induceerde, die beide waarschijnlijk een rol speelden bij de verminderde neurogenese en neuronale degeneratie in de hippocampus van de jonge hersenen. Inzicht in de door RF-EMV veroorzaakte veranderingen in de hersenen op cellulair niveau zal helpen bij de ontwikkeling van passende interventies om de schadelijke gevolgen ervan te verminderen.

Perov SY, Rubtsova NB, Belaya OV. Status van het neuro-endocriene systeem bij dieren die chronisch zijn blootgesteld aan elektromagnetische velden van basisstations voor 5G mobiele netwerken. Bull Exp Biol Med. 2022 Dec;174(2):277-279. doi: 10.1007/s10517-023-05689-2. Epub 2023 Jan 4. PMID: 36598666.

De auteurs bestudeerden het biologische effect van chronische blootstelling aan multifrequente elektromagnetische velden die de effecten van 5G NR/IMT-2020 mobiele communicatiesystemen simuleren. Mannelijke Wistar ratten werden blootgesteld aan 24-uurs straling (250 µW/cm2) gedurende 4 maanden. De exploratieve activiteit van de dieren en de bloedconcentraties van ACTH en corticosteron werden geëvalueerd aan het einde van elke maand blootstelling en 1 maand na de blootstelling. De resultaten suggereren dat blootstelling aan multifrequente elektromagnetische velden die de effecten van 5G-systemen simuleren, de functionele activiteit van de hypothalamus-hypofyse-bijnieras beïnvloedde en stressvol van aard was.

Tan B, Canturk Tan F, Yalcin B, Dasdag S, Yegin K, Yay AH. Veranderingen in de histopathologie en in de eiwitten gerelateerd aan de MAPK pathway in de hersenen van ratten blootgesteld aan pre- en postnatale radiofrequente straling gedurende vier generaties. J Chem Neuroanat. 2022 Dec;126:102187. doi: 10.1016/j.jchemneu.2022.102187. Epub 2022 Oct 29. PMID: 36374647.

Door de ontwikkeling van nieuwe technologieën en de industrie neemt het aantal en de verscheidenheid aan elektromagnetische veldbronnen (EMV) toe. Onderzoekers zijn in toenemende mate geïnteresseerd in de effecten van EMV op de gezondheid van de hersenen. De werking van de hersenen is grotendeels afhankelijk van elektrische prikkelbaarheid, en bijgevolg kan worden verwacht dat ze kwetsbaar zijn voor EMV. De auteurs onderzochten daarom de effecten van de hersenontwikkeling bij de foetus, histopathologische veranderingen bij vrouwelijke ratten en het hippocampale niveau van MAPK-eiwitten bij mannelijke ratten na blootstelling aan pre- en postnatale 2450 MHz continue golf (CG) radiofrequente straling (RFS) gedurende vier generaties. Er werden vier groepen gemaakt; sham, bestraald vrouwtje, bestraald mannetje, bestraald mannetje

en vrouwtje, met elk vier ratten (een mannetje en drie vrouwtjes). De ratten in de blootstellingsgroepen werden gedurende het experiment 12 uur per dag blootgesteld aan 2450 MHz CG-RFS. De bestraling begon een maand voor de bevruchting in de experimentele groep. Op de 18e dag van de draagtijd werd één zwangere rat uit elke groep onder algemene verdoving onthoofd en werden de foetussen weggenomen. De overige twee zwangere ratten voltooiden de normale draagtijd. Toen de nakomelingen twee maanden oud waren, werden vier ratten, één mannetje en drie vrouwtjes, geselecteerd voor de studie van de tweede generatie. De dieren van de volgende generatie ondergingen dezelfde processen als de ratten van de eerste generatie. De effecten op de ontwikkeling van de hersenen bij foetussen en de histopathologische veranderingen in de hersenen van vrouwelijke ratten werden geëvalueerd met behulp van hematoxyline eosinekleuring, en het hippocampale niveau van MAPK-eiwitten in de hersenen van mannelijke ratten door Western Blotting. De auteurs constateerden hemorragische gebieden, onregelmatige cellulaire lokalisatie en vasculaire structuren in de hersenen van foetale en volwassen vrouwelijke ratten van blootgestelde groepen in alle generaties. pERK, ptau, pJNK en pP38 waren verhoogd in de hersenen van volwassen mannelijke ratten van blootgestelde groepen in alle generaties ($p < 0,005$). Op basis hiervan concluderen de auteurs dat pre- en postnatale blootstelling aan 2450 MHz continue radiofrequente straling veranderingen kan veroorzaken in de functie van de MAPK-route die cognitieve processen zoals leren en geheugen beïnvloeden, en schade kan veroorzaken aan zowel het foetus- als het volwassen hersenweefsel. Ook zouden EMV de hersenen van toekomstige generaties kunnen aantasten.

4.2 IN VITRO STUDIES

/

5 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

5.1 IN VIVO STUDIES

Tomruk A, Ozgur-Buyukatalay E, Ozturk GG, Ulusu NN. Kortstondige blootstelling aan radiofrequente straling en activiteiten van metabolische enzymen tijdens de zwangerschap en de prenatale ontwikkeling. Electromagn Biol Med. 2022;41(4):370-378. doi:10.1080/15368378.2022.2104309

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) als milieu- en fysieke verontreiniging zou de kwetsbaarheid voor toxiciteit kunnen induceren en de foetale ontwikkeling kunnen verstoren. Daarom werden de mogelijke gezondheidseffecten van kortdurende blootstelling aan RF-EMV van mobiele telefoons (GSM 1800 MHz; 14 V/m, 2 mW/kg stralingswaarde (SAR) gedurende 15 min/dag voor een periode van 1 week) tijdens de zwangerschap en op de ontwikkeling van foetussen onderzocht. De leverglucoseregulatie en de capaciteiten van glutathionafhankelijke enzymen werden biochemisch geanalyseerd bij volwassen (vrouwelijke) en zwangere Nieuw-Zeelandse Witte konijnen. De twee dagen oude nakomelingen van de zwangere konijnen werden meegenomen om hun ontwikkelingsstadia bij kortstondige blootstelling van de moeder aan RF-EMV te bestuderen. De auteurs analyseerden twee regulerende enzymen in de oxidatieve fase van de fosfogluconaatroutes om de biosynthese van cytosolisch NADPH voor het behoud van het

mitochondriaal energiemetabolisme te analyseren. Bovendien werd de efficiëntie onderzocht van maternale glutathion-afhankelijke enzymen op zowel de verwijdering van metabole verstoringen tijdens de zwangerschap als de ontwikkeling van de foetus. Drachtige dieren werden blootgesteld aan RF-EMV over het hele lichaam van de 15e tot de 22e dag van hun dracht, d.w.z. de rijpingsperiode van weefsels en organen voor konijnenfoetussen. Er waren significante verschillen in de leverglucoseregulatie en de capaciteit van GSH-afhankelijke enzymen bij zwangerschap en kortstondige blootstelling aan RF-EMV. Bijgevolg concludeerden de auteurs dat intra-uteriene blootstelling aan RF-EMV zou kunnen leiden tot cellulaire ROS-afhankelijke verstoringen van de metabolische activiteit en een tekort in het intracellulaire antioxidantensysteem (ROS-opruimend). Deze studie zou een nieuw inzicht kunnen bieden voor verdere onderzoeken naar de mogelijke effecten van kortstondige blootstelling aan RF en de prenatale ontwikkeling.

Salameh M, Zeitoun-Ghandour S, Sabra L, Ismail L, Daher A, Bazzi A, Khalil M, Joumaa WH. Effecten van continue prenatale en postnatale blootstelling aan elektromagnetische golven van het wereldwijde systeem voor mobiele communicatie (GSM-EMW) op de oxidatieve stressbiomerkers in de lever van vrouwelijke ratten. Heliyon. 2022 Dec 17;8(12):e12367. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12367. PMID: 36590500; PMCID: PMC9798186.

In het licht van het toegenomen gebruik van communicatietechnologieën is de schade veroorzaakt door continue blootstelling aan uitgezonden straling op zwangerschap en zich ontwikkelende pasgeborenen een van de publieke zorgen. Met behulp van Sprague-Dawley ratten onderzochten de auteurs in hun studie de effecten van 24 uur/dag prenatale en postnatale blootstelling van vrouwelijke ratten aan 900 MHz radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op het optreden van oxidatieve stress (OS) in de lever en andere leverparameters op postnatale dagen (PND) 1, 9 en 21. De resultaten van de auteurs toonden aan dat blootstelling aan RF-EMV leidde tot een toename van de oxidatieve stress zoals blijkt uit een significante verhoging van het MDA-niveau op PND9 en PND21, een afname van de catalase-activiteit (CAT) op alle leeftijden, een vermindering (PND1 en PND9) van de catalase-hoeveelheid en de mRNA-expressie, en een afname van de GPx-activiteit op PND21 in de blootgestelde groep. De huidige bevindingen toonden ook een significante toename van cytoSOD op PND9 en 21 en een afname van mitoSOD op PND21 in de blootgestelde groepen in vergelijking met de controlegroepen. Op alle onderzochte leeftijden werd echter een significante toename van het glutathionperoxidasegehalte (GPx) en de mitoSOD-activiteit waargenomen. Voorts vertoonde de cytoSOD-activiteit een significante vermindering op PND1, terwijl op PND9 de waarde van deze parameter toenam in vergelijking met de niet-blootgestelde groep. Bovendien nam de mRNA-expressie van SOD1 toe bij PND1, maar af bij PND9 en 21. GPx1-expressie bleek echter steeds te zijn afgenomen in de blootgestelde groep. Bovendien vertoonden de blootgestelde ratten op PND1 en 9 een vergelijkbare reactie op Akt1, nuclear factor erythroïd 2-related factor 2 (Nrf-2), en intercellulaire adhesie molecule-1 (ICAM-1) expressie. Op basis van deze resultaten concluderen de auteurs dat een verhoogde oxidatieve stressstatus als gevolg van een continue (24 uur/dag) blootstelling aan GSM-gemoduleerde 900 MHz radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) tijdens de prenatale en postnatale periode kan resulteren in schadelijke gezondheidseffecten tijdens latere levensfasen.

5.2 IN VITRO STUDIES

/

6 ANDERE EFFECTEN

6.1 IN VIVO STUDIES

Borzoueisileh S, Shabestani Monfared A, Mortazavi SMJ, et al. Voorafgaande blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en inductie van radioadaptieve respons bij ratten die zijn bestraald met hoge doses röntgenstraling. J Biomed Phys Eng. 2022;12(5):505-512. Gepubliceerd 2022 okt 1. doi:10.31661/jbpe.v0i0.1271
Er zijn aanwijzingen dat een voorafgaande blootstelling aan radiofrequenties (RF) de effecten van latere blootstelling aan hoge doses ioniserende straling kan verminderen. De auteurs onderzochten het effect van een voorafgaande blootstelling aan niet-ioniserende RF-straling op de overleving, gewichtsveranderingen, voedselconsumptie en waterinname van dodelijk bestraalde ratten. In deze case-control studie gebruikten de auteurs een commerciële mobiele telefoon (GSM, 900/1800 MHz) en een 2,4 GHz Wi-Fi-router als bronnen van voorafgaande blootstelling aan RF-straling. Achtenveertig ratten werden willekeurig verdeeld in zes groepen: controle, "8 Gy röntgenstraling", mobiele telefoon, "mobiele telefoon+8 Gy", Wi-Fi, en "Wi-Fi+8 Gy". Vervolgens werden de overlevingsfractie, gewichtsverlies, water- en voedselconsumptieveranderingen in verschillende groepen vergeleken. Uit de overlevingsanalyse bleek dat de overlevingspercentages in alle blootgestelde dieren ("8 Gy röntgenstralen", "mobiele telefoon+8 Gy", "Wi-Fi+8 Gy") significant lager waren dan in de controle-, "Wi-Fi" en "mobiele telefoon"-groepen. De veranderingen in overlevingspercentages van "mobiel+8 Gy", "Wi-Fi+8 Gy", en 8 Gy alleen waren niet statistisch significant. Voedsel- en waterinname werden echter significant beïnvloed door blootstelling aan zowel RF-voorafgaande blootstellingen als blootstelling aan een hoge dosis ioniserende straling. Voor zover de auteurs weten, kan het bestaan van een dosisvenster voor de inductie van een adaptieve respons (AR) de oorzaak zijn van het uitblijven van AR in het experiment van de auteurs. Hun bevindingen bevestigen dat de inductie van adaptieve reacties door RF-voorafgaande blootstelling een minimumniveau van schade vereist om adaptieve verschijnselen op gang te brengen, in een vergelijkbaar patroon met de adaptieve reacties geïnduceerd door voorafgaande blootstelling aan ioniserende straling.

Kim HS, Kim Y, Jeon SB, Choi HD, Lee AK, Lee HJ, Pack JK, Kim N, Ahn YH. Effect van blootstelling aan radiofrequentie op de lichaamstemperatuur: Real-time monitoring bij normale ratten. J Therm Biol. 2022 Dec;110:103350. doi: 10.1016/j.jtherbio.2022.103350. Epub 2022 Oct 18. PMID: 36462859.
Radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) kunnen warmte opwekken in levende organismen. In deze studie volgden de auteurs de lichaamstemperatuur van gezonde dieren tijdens blootstelling aan RF-EMV in real time met behulp van een implanteerbare iButton datalogger. Een galmkamersysteem voor kleine dieren werd gebruikt voor dit *in vivo* onderzoek naar blootstelling aan radiofrequentie (RF). Gezonde mannelijke Sprague-Dawley ratten werden verdeeld in twee groepen: met versus zonder iButton implantatie (n = 20 per groep). Elke groep werd verder verdeeld in een aan sham blootgestelde en aan RF blootgestelde groep (n = 10 per subgroep). De ratten werden in het galmkamersysteem blootgesteld aan een 1 760 MHz lange-termijn evolutie (LTE)-signaal met een gemiddelde stralingswaarde voor het hele lichaam van 0 W/kg (blootgesteld aan de sham) of 4 W/kg (blootgesteld aan RF) gedurende 6 uur. De lichaamstemperatuur van de met een iButton geïmplanteerde ratten werd gemeten met behulp van een intraperitoneaal geïmplanteerde iButton, elke minuut gedurende 6 uur RF-blootstelling, terwijl die van de niet-geïmplanteerde ratten direct werd gemeten met een rectale thermometer

onmiddellijk vóór en na de 6 uur durende RF-blootstellingsperiode. De temperatuurwaarden gemeten door de twee soorten thermometers waren significant positief gecorreleerd (r = 0,63, P < 0,01, lineaire regressie), en de veranderingen in de lichaamstemperatuur gemeten bij met de iButton geïmplanteerde en niet-geïmplanteerde ratten met behulp van twee thermometers na 6 uur RF-blootstelling bleven binnen <1°C (P = 0,87, algemeen lineair model, gevolgd door univariaat model). Vergelijkbare resultaten werden verkregen voor rectale thermometermetingen (P = 0,12, gepaarde t-test). Deze resultaten wijzen erop dat blootstelling aan RF met een gemiddelde stralingswaarde voor het hele lichaam van 4 W/kg geen significante veranderingen in de lichaamstemperatuur veroorzaakt bij gezonde ratten gedurende een 6 uur durende blootstelling aan RF.

Hussien NI, Mousa AM, Shoman AA. Verlaagd niveau van plasma nesfatine-1 bij ratten blootgesteld aan mobiele telefoonstraling is gecorreleerd met schildklierdysfunctie, oxidatieve stress en apoptose. Arch Physiol Biochem. 2022 Dec;128(6):1486-1492. doi: 10.1080/13813455.2020.1778037. Epub 2020 Jun 17. PMID: 32552170.

Blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV) van mobiele telefoons zou dysfunctie van de schildklier kunnen veroorzaken en uit een eerdere studie bleek dat nesfatine-1 de functies van de schildklier kan beïnvloeden. Het doel van deze studie was daarom om de rol van nesfatine-1 op functies van de schildklier van ratten blootgesteld aan EMV te bestuderen. Dertig volwassen mannelijke ratten werden gelijk verdeeld in 3 groepen: groep I, groep II en groep III. Het experiment duurde 30 dagen, waarna het plasma nesfatine-1-niveau, de schildklierfuncties en de oxidatieve stress in het schildklierweefsel werden geëvalueerd. Er werden ook histologische en immunohistochemische onderzoeken uitgevoerd om structurele en apoptotische veranderingen van de schildklier te bestuderen. Er was een significante daling van de plasma nesfatine-1-spiegel en de schildklierfuncties met een toename van oxidatieve stress en apoptose. Interessant genoeg was er een correlatie tussen nesfatine-1-spiegel en merkers van schildklierfunctie, oxidatieve stress en apoptose. Nesfatine-1 zou bijgevolg volgende de auteurs een rol spelen bij schildklierfunctiestoornissen van ratten die zijn blootgesteld aan straling van mobiele telefoons.

6.2 IN VITRO STUDIES

/

GENERAL COMMENTS

Dit verslag bestaat uit elf experimentele studies en één overzichtsartikel over de mogelijke effecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV) op de gezondheid van de mens.

Balmori heeft een overzicht gemaakt van de bestaande wetenschappelijke literatuur om de kennis over de effecten van basisstationantennes op de mens te actualiseren. De onderzoeker selecteerde 38 studies die de invloed van RF-antennes op de menselijke gezondheid evalueerden, waarbij voornamelijk werd gekeken naar de link met RF-ziekte, kanker en veranderingen in biochemische parameters. Er moet hierbij worden opgemerkt dat RF-ziekte, ook naar verwezen als elektrohypersensitiviteit of EHS, door de WHO niet als een erkende ziekte wordt beschouwd. EHS doet zich namelijk voor als een reeks niet-specifieke symptomen, waardoor de diagnose stralingsziekte onmogelijk is. Bijgevolg zijn de meeste gevallen van EHS zelf gerapporteerd. Symptomen van EHS kunnen vaak ook worden toegeschreven aan andere bronnen van milieublootstelling, zoals toxines of zelfs een nocebo-effect. Veel menselijke studies die mensen gericht blootstelden vonden geen verschil tussen zelfverklaarde EHS mensen en mensen uit de algemene bevolking in hun vermogen om hun symptomen te onderscheiden tussen echte en schijnblootstelling. Deze studies werden niet bekeken door Balmori et al. Eén van de reviews die in opdracht van de WHO wordt uitgevoerd zal gaan over niet-specifieke symptomen en zal meer achtergrondinformatie geven over EHS en blootstelling aan elektromagnetische velden.

Biochemische parameters daarentegen kunnen een indicatie geven van gezondheidseffecten bij de mens, maar veranderingen in deze parameters moeten niet automatisch als schadelijk worden beschouwd. Een toename/afname van een biochemische parameter kan worden veroorzaakt door een andere milieufactor of gewoon deel uitmaken van de natuurlijke reactie van het lichaam, zonder dat dit leidt tot schadelijke gevolgen voor de gezondheid. Ten slotte werd in eerdere epidemiologische studies aangetoond dat kanker (vooral sommige specifieke soorten hersenkanker) meer voorkomt in de buurt van radiofrequentiebronnen (waar Balmori in deze evaluatie naar keek), maar tot dusver is er weinig experimenteel bewijs gevonden voor het oorzakelijk verband tussen RF-blootstelling en deze soorten kanker. Een andere review die in opdracht van de WHO wordt uitgevoerd heeft daarom als doel om een vollediger overzicht te geven met meta-analyses over de mogelijke link tussen kanker en blootstelling aan elektromagnetische velden.

Al de experimentele studies die in dit verslag werden opgenomen hadden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies bevatten geen of slechte dosimetrieberekeningen (Olejárová et al., Kopani et al., Perov et al., Borzoueisileh et al., Hussien et al.) of gebruikten blootstellingssystemen die niet geschikt waren voor het type experiment dat werd uitgevoerd (Olejárová et al., Borzoueisileh et al., Hussien et al.). Bij andere werd niet genoeg informatie verstrekt om de kwaliteit van het blootstellingsysteem te evalueren (Kopani et al.). Bij sommige studies was het onduidelijk of de juiste sham-condities werden gebruikt (Kopani et al., Borzoueisileh et al., Salameh et al.), en bij één studie werd een bijzonder vreemde sham-conditie gebruikt, waarbij het staal in stralingsbeschermend materiaal werd gewikkeld (Olejárová et al.). De meeste studies bevatten ook geen echte geblindeerde testomstandigheden (Olejárová et al., Kucukbagriacik et al., Kopani et al., Perov et al., Tan et al., Tomruk et al., Borzoueisileh et al., Kim

et al., Hussien et al., Salameh et al.) of werden slechts in een deel van de uitgevoerde experimenten gebruikt (Singh et al.).

Bovendien werd in de meeste experimenten (Olejárová et al., Kucukbagriacik et al., Singh et al., Perov et al., Tan et al., Tomruk et al., Borzoueisileh et al., Hussien et al., Salameh et al.) de temperatuur van het staal (ofwel de lichaamstemperatuur in het geval van *in vivo* onderzoeken, ofwel de mediumtemperatuur in het geval van *in vitro* onderzoeken) niet gecontroleerd, zodat geen rekening kon worden gehouden met mogelijke verwarming van het staal als gevolg van de RF-EMV. Bij de meeste studies werd de omgevingstemperatuur in de kamer gecontroleerd.
Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks te koppelen aan gezondheidsresultaten bij de mens, aangezien enerzijds de relevantie van *in vitro* of bij proefdieren waargenomen effecten voor de mens vaak niet duidelijk is, en anderzijds een onder experimentele omstandigheden waargenomen biologisch effect niet noodzakelijk leidt tot een gezondheidseffect. Deze studies moeten ook onafhankelijk worden gerepliceerd om de validiteit van de resultaten te waarborgen.

In de nabije toekomst zullen de resultaten van de in opdracht van de WHO uitgevoerde systematische evaluaties met meta-analyses over uiteenlopende gezondheidseffecten worden gepubliceerd. In deze reviews zal rekening worden gehouden met alle studies die betrekking hebben op kanker, nadelige gevolgen voor de voortplanting, cognitieve stoornissen, aspecifieke symptomen, oxidatieve stress en hittegerelateerde ziekten. De resultaten van deze systematische evaluaties moeten ons meer inzicht geven in de onderwerpen die nader moeten worden bestudeerd.

Op basis van de resultaten van de in dit verslag gepresenteerde studies kunnen wij geen conclusies trekken over eventuele biologische schadelijke effecten van RF, noch over eventuele gezondheidseffecten. Zoals door verschillende auteurs in dit verslag is opgemerkt, blijft het belangrijk om de methodologische kwaliteit van experimentele studies in aanmerking te nemen alvorens conclusies te trekken over gezondheidseffecten.