Vlaanderen
is omgeving

Overzicht van studies over de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling die in 2023 werden gepubliceerd

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Het Departement Omgeving volgt de meest recente wetenschappelijke onderzoeken op om snel tekunnen 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 noodzakelijkerwijs die van de Vlaamse Regering.

COLOFON

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
Dr. Els De Waegeneer – Universiteit Gent, Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg
Seppe Segers – Sciensano, Dienst Risico- en gezondheidsimpactevaluatie
Maryse Ledent – Sciensano, Dienst Risico- en gezondheidsimpactevaluatie
Birgit Mertens – Sciensano, Dienst Risico- en gezondheidsimpactevaluatie

INHOUD

Overzicht van de epidemiologische en humane experimentele studies naar de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling – eerste kwartaal 2023. ... 6
1 overzichtsrapporten en meta-analyses ... 6
1.1 BEROEPSBLOOTSTELLING AAN FYSISCHE EN CHEMISCHE RISICOFACTOREN: EEN SYSTEMATISCHE OVERZICHT VAN REPRODUCTIEVE PATHOFYSIOLOGISCHE EFFECTEN BIJ VROUWEN EN MANNEN. 6
2 GSM-gebruik ... 7
2.1 EPIDEMIOLOGIE EN RISICOFACTOREN VOOR DE ONTWIKKELING VAN SPORADISCHE VESTIBULAIRE SCHWANNOMA 7
2.2 MOBIEL TELEFOONGEBRUIK, GENETISCHE GEVOELIGHEID EN NIEUWE CHRONISCHE NIERZIEKTEN 8
2.3 Verband tussen de AUTONOME BALANS en De duur van TELEFOONGESPREKKEN BIJ MENSEN 9
2.4 EFFECT VAN RADIOFREQUENTIE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING UITGEZONDEN DOOR mobiele telefoons OP DE mobiliteit EN LEVENSVatbaarheid VAN SPERMA 10
3 Residentiële blootstelling ... 12
3.1 DE RELATIE TUSSEN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS EN HERSENTUMORen: DE HERSENTUMOR INCIDENtie TRENDS IN ZUID-KOREA 12
3.2 TIJDSVERLOOP VAN GEZONDHEIDSKLACHTEN TOEGESCHREVEN AAN BLOOTSTELLING AAN RF-EMV EN VOORSPELLERS VAN ELEKTROMAGNETISCHE OVERGEVOELIGHEID GEDURENDE 10 JAAR IN EEN PROSPECTIEF COHORT VAN NEDERLANDSE VOLWASSENEN 13
3.3 CASE REPORT: HET MICROGOLFSYNDROOM NA INSTALLATIE VAN 5G BEKLEMTOONT DE NOODZAAK VAN BESCHERMING TEGEN RADIOFREQUENTIESTRALING 14
4 humaan experimenteel onderzoek ... 15
4.1 EFFECT VAN ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS OP AUDITIeve HERSENSTAMRESPONS 15
5 Algemeen besluit ... 16
Referenties ... 17
Overzicht van de experimentele studies en reviews betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het eerste trimester van 2023 werden gepubliceerd ... 18
1 Reviews ... 18
1.1 In vivo studies over blootstelling aan radiofrequente (100 kHz-300 GHz) elektromagnetische velden en kanker: Een systematische review 18
1.2 Verband tussen blootstelling van de ouders aan radiofrequente elektromagnetische velden en hematopoïetische neoplasmen (lymfoom, leukemie) en tumoren in het centrale zenuwstelsel bij kinderen: een systematische review 19
1.3 Genotoxische risico's van radiofrequente straling voor de voortplanting van mannen. 19
2 Neoplastische ziekten ... 20
3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen ... 20
3.1 Evaluatie van het effect van “jammer” straling op het leren en het geheugen van mannelijke ratten. 20
3.2 Pilootstudie naar de langetermijneffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische straling op de hersenen van muizen 21
3.3 Beschermende rol van hispolon en zijn derivaten tegen apoptose in corticale neuronen geïnduceerd door elektromagnetische straling van 4G mobiele telefoon 22
4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten ... 23
4.1 De effecten van langdurige prenatale blootstelling aan 900, 1800 en 2100 MHz elektromagnetische veldstraling op het myocardiaal weefsel van ratten. 23
4.2 Effect van radiofrequente elektromagnetische straling van moderne mobiele telefoons op de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma: Een in vitro studie 24
5 Andere effecten ... 25
5.1 Nadelige effecten van 900, 1800 en 2100 MHz radiofrequente straling van mobiele telefoons op botten en skeletspieren. 25

5.2 Analyse van globale DNA-methyleringsveranderingen in menselijke keratinocyten onmiddellijk na blootstelling aan een 900 MHz radiofrequentieveld 25
6 General comments 26
Referenties 29
Overzicht van de epidemiologische en humane experimentele studies naar de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling – tweede kwartaal 2023. 31
1 Overzichtsstudies en meta-analyses 31
1.1 EXPOSures to radiofrequency electromagnetic fields and their impact on children's health. 31
1.2 Effects of man-made electromagnetic fields on heart rate variability parameters of general public: a systematic review and meta-analysis of experimental studies 32
1.3 Electromagnetic fields exposure on fetal and childhood abnormalities: Systematic review and meta-analysis 33
2 GSM-gebruik 34
2.1 Impact of Radiofrequency Exposure from Mobile Phones on the Risk of Developing Brain Tumors in Korean and Japanese Adolescents: A MOBI-Kids Case-Control Study 34
2.2 The association between real-life markers of phone use and cognitive performance, health-related quality of life and sleep 34
2.3 Electromagnetic Fields - Do They Pose a Cardiovascular Risk? 35
3 Residentiële blootstelling 36
3.1 PRevalence of migraine disease in electrohypersensitive patients 36
4 humaan experimenteel onderzoek 37
5 general conclusion 37
Referenties 38
Overzicht van de experimentele studies en reviews betreffende de gezondheidseffecten van radiofrequentie straling die in het tweede trimester van 2023 werden gepubliceerd. 39
1 Reviews 39
2 Neoplastische ziekten 39
3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen 39
3.1 Biologische effecten van blootstelling aan 2650 MHz elektromagnetische straling op het gedrag, het leren en het geheugen van muizen. 39
3.2 Effecten van elektromagnetische straling van mobiele telefoons op de schildklier en hormonen in de hersenen van Rattus norvegicus: een analyse van schildklierfunctie, reactieve zuurstofspecies en monocarboxylaat transporter 8 40
3.3 Effecten van niet-thermische radiofrequentiestimulatie op neuronale activiteit en het neuraal circuit bij muizen 41
4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten 42
4.1 Teratogene effecten van radiofrequente elektromagnetische straling op de embryonale ontwikkeling van kuikens: een studie naar morfologie en uitbroedbaarheid. 42
4.2 Pre- en postnatale blootstelling aan 900 MHz elektromagnetische velden induceren inflammatie en oxidatieve stress, en veranderen de componenten van het renine-angiotensinesysteem in mannelijke en vrouwelijke nakomelingen op een verschillende manier. 42
4.3 Myrtenal verbetert geheugentekorten bij muizen die zijn blootgesteld aan radiofrequentie-elektromagnetische straling tijdens de dracht en de neonatale ontwikkeling via verbetering van de oxido-inflammatoire en neurotransmitterfuncties 43
5 Andere effecten 44
5.1 Dosis- en tijdsafhankelijke effecten van radiofrequent elektromagnetisch veld op vetweefsel: Implicaties van Thermoregulatie en Mitochondriale Signalisering 44
5.2 Niet-thermische verstoring van β-adrenerge receptor-geactiveerde Ca2+ signalering en apoptose in menselijke ES-afgeleide cardiomyocyten door elektrische microgolfvelden op 2,4 GHz. 45
5.3 Evaluatie van DNA-methyleringsprofielen van LINE-1, Alu en Ribosomale DNA Repeats in menselijke cellijnen die zijn blootgesteld aan radiofrequente straling 46
5.4 Effecten van 5G-gemoduleerde 3,5 GHz radiofrequente veldblootstelling op HSF1, RAS, ERK en PML activering in levende fibroblasten en keratinocyten cellen 46

6 General comments 47
Referenties 49

OVERZICHT VAN DE EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMANE EXPERIMENTELE STUDIES NAAR DE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING – EERSTE KWARTAAL 2023.

Dr. Els De Waegeneer

1 OVERZICHTSRAPPORTEN EN META-ANALYSES

1.1 BEROEPSBLOOTSTELLING AAN FYSISCHE EN CHEMISCHE RISICOFACTOREN: EEN SYSTEMATISCHE OVERZICHT VAN REPRODUCTIEVE PATHOFYSIOLOGISCHE EFFECTEN BIJ VROUWEN EN MANNEN.

Ramezanifar, S., Beyrami, S., Mehrifar, Y., Ramezanifar, E., Soltanpour, Z., et al. (2023). Safety and Health at Work, 14, 17-30. https://orcid.org/0000-0002-0100-7971

Achtergrond en doel: Het menselijk voortplantingssysteem kan worden beïnvloed door beroepsmatige blootstelling aan vele fysische en chemische risicofactoren. Deze studie heeft tot doel om de onderzoeken te herzien die zijn uitgevoerd naar de pathofysiologische effecten van fysische en chemische risicofactoren op het voortplantingssysteem van vrouwen en mannen.

Methoden: In deze systematische review werden de databases "Google Scholar", "Pub-Med", "Scopus" en "Web of Science" gebruikt. In navolging van de “Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses” (PRISMA 2020), werden de studies die deel uitmaken van het onderzoek gepubliceerd tussen 2000 en 2021. Om de vereiste gegevens te extraheren, werden alle secties van de artikelen beoordeeld.

Resultaten: Van de 57 artikelen die werden beoordeeld, hadden 34 artikelen betrekking op veldstudies en 23 artikelen op klinische studies. Hiervan gingen 43 studies over de pathofysiologische effecten van chemische agentia, zes studies over de pathofysiologische effecten van fysische factoren en 8 studies over de pathofysiologische effecten van fysisch-chemische factoren op het menselijke voortplantingssysteem.

Conclusie: Fysieke (lawaai, hitte en radiofrequente straling) en chemische (zoals carbamaat- en organofosfaatpesticiden, benzeen, tolueen, xyleen, formaldehyde, NO2, CS2, mangaan, lood, nikkel en n-hexaan) risicofactoren hadden pathofysiologische effecten op het menselijke voortplantingssysteem. De aanwezigheid van deze risicofactoren op de werkplek veroorzaakte schade aan het menselijke voortplantingssysteem. De snelheid van deze negatieve

pathofysiologische effecten kan worden verminderd door passende bestuurlijke, technische en technische maatregelen in werkomgevingen uit te voeren.

Commentaar dr. Els De Waegeneer: Deze publicatie vertoont nogal wat methodologische tekortkomingen als het gaat om het beoordelen van het effect van RF-EMF op de reproductie van individuen. Het houdt geen rekening met de meeste peer-reviewed publicaties over dit onderwerp, maar gebruikt slechts enkele artikelen om rekening mee te houden. Daarom moet de conclusie van de auteurs met de nodige voorzichtigheid worden benaderd.

2 GSM-GEBRUIK

2.1 EPIDEMIOLOGIE EN RISICOFACTOREN VOOR DE ONTWIKKELING VAN SPORADISCHE VESTIBULAIRE SCHWANNOMA

Durham, A.R., Tooker, E.L., Patel, N.S., Gurgel, R.K. (2023). Otolaryngologic Clinics of North America, in press. https://doi.org/10.1016/j.otc.2023.02.003

Achtergrond en doel: Momenteel bestaat er geen consensus over het verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en een verhoogd risico op kanker, maar de meeste literatuur suggereert dat er geen correlatie bestaat. Vanaf de introductie van mobiele telefoons halverwege de jaren tachtig was er bezorgdheid over het risico op hersentumoren, gezien de nabijheid van de hersenen tot de radiofrequente straling die wordt uitgezonden door mobiele antennes. Blootstelling aan matige tot hoge doses ioniserende straling bij overlevenden van de atoombom en tandheelkundige röntgenfoto's zijn de enige twee vastgestelde omgevingsrisico's voor hersen- en CZS-tumoren. Ioniserende straling in de klinische setting, waaronder diagnostische straling (5-50 EHz) en therapeutische straling (500-5.000 EHz), is echter een magnitude van 106 groter dan de 39 GHz die wordt uitgezonden door 5G-mobiele antennes en ver onder de menselijke blootstellingslimieten gespecificeerd door de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Vroege epidemiologische studies door het National Cancer Institute (NCI) tussen 1994 en 1998 vonden geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en het risico op VS bij volwassenen. Een van de grootste dierstudies van het Amerikaanse National Toxicology Program waarin 2G- en 3G-frequenties bij ratten en muizen werden onderzocht, nam kleine hoeveelheden kankerachtige Schwann-cellen in het hart waar bij mannelijke ratten, maar niet bij vrouwelijke ratten of muizen. Gezien de overeenkomsten tussen cardiale en vestibulaire Schwann-cellen, was er bezorgdheid over het potentiële risico voor VS. Deze bevindingen werden echter niet gevonden in vergelijkbare muis- en rattendiermodellen, wat vragen opriep over inconsistentie. De ICNIRP heeft conclusies over het verhoogde risico op kanker in verband met blootstelling aan radiofrequentie in latere dierstudies grotendeels in diskrediet gebracht.

De Million Women-studie en de Danish Cohort, twee van de grootste epidemiologische beoordelingen tot nu toe, concludeerden gezamenlijk dat er geen bewijs is dat het gebruik van mobiele telefoons in verband wordt gebracht met een verhoogd risico op sporadische VS. De Million Women Study, een prospectief cohort van meer dan 790.000 vrouwen in het Verenigd Koninkrijk, analyseerde gegevens van zelfgerapporteerde vragenlijsten voor mobiele telefoons en percentages van VS. De aanvankelijke resultaten rapporteerden hogere VS-percentages onder deelnemers met

meer dan 10 jaar gebruik van mobiele telefoons, maar werden niet gerapporteerd in vervolgonderzoeken. Onderzoekers erkenden beperkingen bij de interpretatie van het verhoogde risico op VS en merkten op dat de tarieven in het Verenigd Koninkrijk niet zijn gestegen in dezelfde periode van toegenomen gebruik van mobiele telefoons. De meest uitgebreide studie, de Deense cohortstudie, vergeleek informatie over abonnees van meer dan 358.000 mobiele telefoons met gegevens over de incidentie van hersentumoren van het Deense Kankerregister en vond geen verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en de incidentie van VS, zelfs niet bij abonnees van 13 jaar of ouder van het gebruik van mobiele telefoons.

Vanaf 2011 classificeert het International Agency for Research on Cancer radiofrequente elektromagnetische velden als een groep 2B (mogelijk kankerverwekkend voor mensen) op basis van het beperkte bewijs van een verhoogd risico op glioom (niet VS). De Food and Drug Administration, NCI en het Center for Disease Control verklaren gezamenlijk dat er geen wetenschappelijk bewijs is dat een definitief verband legt tussen het gebruik van mobiele telefoons en kanker.

Conclusie: Hoewel langetermijnstudies aan de gang zijn, is er tot op heden geen overtuigend bewijs het gebruik van mobiele telefoons koppelen aan een verhoogd risico op sporadische VS.

2.2 MOBIEL TELEFOONGEBRUIK, GENETISCHE GEVOELIGHEID EN NIEUWE CHRONISCHE NIERZIEKTEN

Zhang, Y., Zhang, Y., Ye, Z., et al. (2023). International Journal of Public Health 68:1605358.
https://doi.org/10.3389/ijph.2023.1605358

Achtergrond en doel: Chronische nierziekte (CNZ) heeft een grote invloed op de wereldwijde gezondheid, zowel als directe oorzaak van morbiditeit als als een belangrijke risicofactor voor hart- en vaatziekten en vroegtijdig overlijden. In 2017 waren er wereldwijd 697,5 miljoen gevallen van CNZ, met een wereldwijde prevalentie van 9,1%. CNZ is grotendeels te voorkomen, en daarom heeft het identificeren van meer beïnvloedbare risicofactoren voor CNZ om primaire preventieve maatregelen vast te stellen belangrijke klinische implicaties. De auteurs willen de associaties onderzoeken tussen het gebruik van mobiele telefoons en de gebruikskenmerken ervan met nieuw ontstane chronische nierziekten.

Methoden: 408.743 deelnemers zonder eerdere CNZ in de UK Biobank werden opgenomen. De primaire uitkomstmaat was nieuwe CNZ.

Resultaten: Tijdens een mediane follow-up van 12,1 jaar kwamen 10.797 (2,6%) deelnemers met chronische nierziekte voor. Vergeleken met niet-gebruikers van mobiele telefoons, werd een significant hoger risico op nieuwe CNZ gevonden bij gebruikers van mobiele telefoons (HR = 1,07; 95%-BI: 1,02–1,13). Bovendien werd bij gebruikers van mobiele telefoons, in vergelijking met deelnemers met een wekelijkse gebruikstijd van het maken of ontvangen van mobiele telefoons <30 minuten, een significant hoger risico op nieuwe CNZ waargenomen bij degenen met een gebruikstijd van ≥30 minuten (HR = 1,12; 95 % BI: 1,07–1,18). Bovendien hadden deelnemers met zowel een hoog genetisch risico op CNZ als een langere wekelijkse gebruikstijd van mobiele telefoons het hoogste risico op CNZ. Vergelijkbare resultaten werden gevonden met behulp van “propensity score matching”-methoden. Er waren echter geen significante verbanden tussen de duur van het gebruik

van mobiele telefoons en het gebruik van een handsfree-apparaat/speakerphone met het ontstaan van CNZ bij mobiele telefoongebruikers.

Conclusie: Het gebruik van mobiele telefoons was significant geassocieerd met een hoger risico op nieuwe CND, vooral bij degenen met een langere wekelijkse gebruikstijd van mobiele telefoons om te bellen of gebeld te worden. Deze bevindingen en de onderliggende mechanismen moeten verder worden onderzocht.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: De beoordeling van de RF-blootstelling is mogelijk vertekend, aangezien deze berust op zelfrapportering en herinnering. Dit wordt in het artikel vermeld als "De duur van het gebruik van mobiele telefoons werd beoordeeld aan de hand van de volgende vraag: "Hoeveel jaar gebruikt u een mobiele telefoon ongeveer één keer per week om te bellen of gebeld te worden?", en 7 opties waren gegeven om te reageren: "Nooit minstens één keer per week mobiele telefoon gebruikt", "Een jaar of minder", "Twee tot vier jaar", "Vijf tot acht jaar", "Meer dan acht jaar", "Weet niet", en "Geef liever geen antwoord." Volgens de antwoorden op de bovenstaande vraag werden degenen die aangaven in het verleden minstens één keer per week een mobiele telefoon te hebben gebruikt, gedefinieerd als gebruikers van mobiele telefoons. Gebruikers van mobiele telefoons werd verder gevraagd naar wekelijks gebruik van mobiele telefoons om te bellen of gebeld te worden, en handsfree-apparaat/speakerphone-gebruik met mobiele telefoon, terwijl anderen dat niet deden. Wekelijks gebruik van mobiele telefoons om te bellen of gebeld te worden, werd verkregen met de volgende vraag: "Hoeveel tijd per week besteedde u in de afgelopen 3 maanden gemiddeld aan het bellen of gebeld worden op een mobiele telefoon?", en er werden 8 opties gegeven om antwoord: "Minder dan 5 min", "5-29 min", "30-59 min", "1-3 uur", "4-6 uur", "Meer dan 6 uur", "Weet niet", en "Geef liever geen antwoord." Het gebruik van een handsfree apparaat/speakerphone om te bellen of gebeld te worden, werd beoordeeld aan de hand van de volgende vraag: "Hoe vaak heeft u in de afgelopen 3 maanden een handsfree apparaat/speakerphone gebruikt om te bellen of gebeld te worden op uw mobiele telefoon?", en Er werden 7 opties gegeven om te antwoorden: "Nooit of bijna nooit", "Minder dan de helft van de tijd", "Ongeveer de helft van de tijd", "Meer dan de helft van de tijd", "Altijd of bijna altijd", "Weet niet", en “Geef liever geen antwoord.””. Deze methode is niet robuust genoeg om de blootstelling van de proefpersonen te beoordelen.

2.3 VERBAND TUSSEN DE AUTONOME BALANS EN DE DUUR VAN TELEFOONGESPREKKEN BIJ MENSEN

Gangwar, V., Gupta, S., Verma, M. et al. (2023). Cureus 15(1): e33566. https://doi.org/10.7759/cureus.33566

Achtergrond en doel: Deze studie onderzoekt de associatie van de autonome balans met de duur van telefoongesprekken bij gezonde individuen.

Methoden: Een totaal van 30 proefpersonen tussen 18 en 30 jaar zonder enige vastgestelde systemische ziekte en die gedurende meer dan vijf jaar mobiele telefoons gebruikten met minimaal dagelijks gebruik van 30 minuten, werden opgenomen in deze analytische studie. Hartslagvariabiliteit (HRV) werd gedurende 10 minuten geregistreerd. Tijdsdomeinparameters werden geregistreerd in termen van de standaarddeviatie van normaal tot normaal interval (SDNN), wortelgemiddelde kwadraat van opeenvolgende verschillen tussen normale hartslagen (RMSSD),

RR-intervallen groter dan 50 ms (pRR50) en gemiddelde hartslag (MHR). Frequentiedomeinparameters waren totaal vermogen, laagfrequent vermogen (LF), hoogfrequent vermogen (HF) en de verhouding tussen laagfrequent en hoogfrequent vermogen (LF/HF). HRV werd drie keer geregistreerd bij elke proefpersoon, inclusief baseline HRV, HRV tijdens het gebruik van een mobiele telefoon en HRV na het gebruik van een mobiele telefoon.

Resultaten: In totaal namen 30 proefpersonen (14 mannen en 16 vrouwen) deel aan deze studie. De gemiddelde leeftijd van de deelnemers was 31,93 ± 8,59 jaar (32,07 ± 9,87 jaar voor mannen en 31,81 ± 7,64 jaar voor vrouwen). Er waren geen bevindingen van significante aritmie bij een van de deelnemers. Er was een significant verschil in pRR50 bij het vergelijken van alle drie de fasen ($p = 0,036$). Er was echter geen significante variatie in andere parameters zoals zeer lage frequentie (VLF, ms2), VLF (%), LF (ms2), LF (%), HF (ms2), HF (%), LF/HF, SDNN (ms), RMSSD (ms), Poincare-plot standaarddeviatie loodrecht op de identiteitslijn (ms), Poincare-plot standaarddeviatie langs de identiteitslijn (ms), systolische bloeddruk (mmHg) en diabolische bloeddruk (mmHg) tijdens, voor en na blootstelling aan mobiele telefoongesprekken. Er was geen significant verschil in de waarde van alle parameters tussen mannen en vrouwen ($p < 0,05$).

Conclusie: Mobiele telefoongesprekken kunnen HRV en autonome balans beïnvloeden. Deze verandering kan worden beïnvloed door het elektromagnetische veld, alsook door spreken.

Commentaar dr. Els De Waegeneer: De studie toonde geen significante verandering in de frequentieparameters van HRV. Deze studie omvatte geen controlegroep en is zeer vatbaar voor zowel bias als confounding.

2.4 EFFECT VAN RADIOFREQUENTIE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING UITGEZONDEN DOOR MOBIELE TELEFOONS OP DE MOBILITEIT EN LEVENSVATBAARHEID VAN SPERMA

Chu, K.Y., Khodamoradi, K., Blachman-Braun, R. et al. (2023). European Urology Focus, 9, 69-74. https://doi.org/10.1016/j.euf.2022.11.004

Achtergrond en doel: GSMs zenden radiofrequente elektromagnetische straling (RF-EMR) uit voor overdracht van gegevens voor communicatie via sociale media, voor surfen op het web en voor het streamen van muziek en podcasts. Het gebruik van Bluetooth-oordopjes heeft waarschijnlijk de periode waarin GSMS in de broekzakken van mannen zitten, verlengd. Er is gepostuleerd dat RF-EMR oxidatieve stress verhoogt en de vorming van vrije radicalen induceert. Het doel van deze studie is om het effect te onderzoeken van het draadloze spectrum (4G, 5G en wifi) RF-EMR uitgezonden door moderne smartphones op de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma en te onderzoeken of deze effecten kunnen worden beperkt met behulp van een fysieke barrière of afstand.

Methoden: Spermamonsters werden verkregen van vruchtbare mannen van 25-35 jaar. Een smartphone van de huidige generatie in gespreksmodus werd gebruikt als de RF-EMR-bron. Er is een WhatsApp-gesprek gevoerd via een draadloze 4G-, 5G- of wifi-verbinding. De auteurs bepaalden of blootstellingseffecten werden beperkt door ofwel een gsm-hoesje 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 zagen een afname van de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van het sperma bij blootstelling aan wifi, maar niet bij blootstelling aan 4G of 5G RF-EMR.

Conclusie: Deze verkennende studie onthulde dat de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma negatief zijn beïnvloed door smartphones die het wifi-spectrum gebruiken voor datatransmissie.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Een eerste beperking van deze studie is de kleine steekproefomvang. Bovendien werden er geen demografische gegevens over deze patiënten verzameld, dus uitgebreide confounding bias is mogelijk. Er moet ook rekening worden gehouden met andere variabelen, zoals temperatuur en stralingssterkte.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

3.1 DE RELATIE TUSSEN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS EN HERSENTUMOREN: DE HERSENTUMOR INCIDENTIE TRENDS IN ZUID-KOREA

Moon, J. (2023). Environmental Research, 226. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115657

Achtergrond en doel: Het doel van deze studie is het onderzoeken van de relatie tussen het hebben van een GSM-abonnement en de incidentie van hersentumoren in Zuid-Korea. Het abonnementspercentage voor mobiele telefoons werd gebruikt als proxy voor de RF-EMR-blootstellingsbeoordeling.

Methoden: De gegevens voor GSM-abonnementen per 100 personen van 1985 tot 2019 zijn gevonden in de Statistics, International Telecom Union (ITU). De gegevens over de incidentie van hersentumoren van 1999 tot 2018, werden verstrekt door de South Korea Central Cancer Registry, beheerd door het National Cancer Center.

Resultaten: In Zuid-Korea steeg de abonnementsgraad van 0 per 100 personen in 1991 naar 57 per 100 personen in 2000. De abonnementsgraad werd 97 per 100 personen in 2009 en 135 per 100 personen in 2019. Voor de correlatiecoëfficiënt tussen mobiele telefoons inschrijvingspercentage vóór 10 jaar en ASIR per 100.000, werd een positieve correlatiecoëfficiënt met statistische significantie gerapporteerd bij 3 goedaardige hersentumoren (International Classification of Diseases, ICD-10 code, D32, D33 en D32.0) en bij 3 kwaadaardige hersentumoren tumoren (ICD-10-code, C71.0, C71.1 en C71.2). Positieve correlatiecoëfficiënten met een statistische significantie bij kwaadaardige hersentumoren varieerden van 0,75 (95% BI 0,46–0,90) voor C71.0 tot 0,85 (95% BI 0,63–0,93) voor C71.1. Gezien het feit dat de belangrijkste route voor blootstelling aan RF-EMR via de frontotemporale zijde van de hersenen (de locatie van beide oren) is geweest, is er sprake van een positieve correlatiecoëfficiënt met een statistische significantie in de frontale kwab (C71.1) en temporale kwab (C71.2).

Conclusie: Statistisch niet-significante resultaten van recente internationale cohortstudies en grote populatieonderzoeken en tegenstrijdige resultaten van veel eerdere case-control-onderzoeken zouden kunnen wijzen op een probleem bij het identificeren van een factor als bepalende factor voor een ziekte in de opzet van een ecologisch onderzoek.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Het gebruik van het aantal gsm-abonnementen als proxy voor de mate van blootstelling aan RF-EMF is problematisch en kan vertekening veroorzaken. Er is een nauwkeurigere beoordeling van de blootstelling nodig, zoals locatiespecifieke, tijdintegrale meting van SAR voor elk individu.

3.2 TIJDSVERLOOP VAN GEZONDHEIDSKLACHTEN TOEGESCHREVEN AAN BLOOTSTELLING AAN RF-EMV EN VOORSPELLERS VAN ELEKTROMAGNETISCHE OVERGEVOELIGHEID GEDURENDE 10 JAAR IN EEN PROSPECTIEF COHORT VAN NEDERLANDSE VOLWASSENEN

Traini, E., Martens, A.L., Slottje, P. (2023). Science of the Total Environment, 856.
http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159240

Achtergrond en doel: Sommige personen schrijven gezondheidsklachten toe aan blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF). Deze aandoening, bekend als idiopathische omgevingsintolerantie toegeschreven aan RF-EMF's (IEI-RF) of elektromagnetische overgevoeligheid (EHS), kan invaliderend zijn voor degenen die erdoor worden getroffen. In deze studie beoordeelden de auteurs factoren die verband houden met het ontwikkelen, behouden of verwerpen van IEI-RF in de loop van 10 jaar, en voorspellers van het ontwikkelen van EHS bij follow-up met behulp van een gerichte vraag zonder de voorwaarde om gezondheidsklachten te melden die worden toegeschreven aan RF- EMV-blootstelling.

Methoden: Deelnemers (n=892, gemiddelde leeftijd 50 bij aanvang, 52% vrouwen) van de Nederlandse arbeids- en milieugezondheidscohortstudie AMIGO vulden vragenlijsten in in 2011/2012 (T0), 2013 (T1) en 2021 (T4) waarbij er informatie werd verzameld met betrekking tot waargenomen RF-EMF-blootstelling en -risico, niet-specifieke symptomen, slaapproblemen, IEI-RF en EHS. De auteurs pasten Markov-modellen met meerdere toestanden toe om weer te geven hoe individuen overgingen tussen toestanden ("ja", "nee") van IEI-RF.

Resultaten: Op elk tijdstip rapporteerde ongeveer 1% van de deelnemers aan de studie gezondheidsklachten die ze toeschreven aan blootstelling aan RF-EMF. Hoewel dit percentage stabiel bleef, veranderden de personen die dergelijke klachten rapporteerden in de loop van de tijd: van de negen personen die gezondheidsklachten rapporteerden op T0, meldde slechts één IEI-RF op zowel T1 als T4, en twee nieuw gemelde gezondheidsklachten op T4. Over het algemeen hadden de deelnemers een kans van 95% om over een tijdsverloop van 10 jaar van "ja" naar "nee" te gaan, en een kans van 1% om van "nee" naar "ja" te gaan. Deelnemers met een hoge perceptie van RF-EMF-blootstelling en -risico hadden een algemene neiging om vaker van toestand te veranderen.

Conclusies: De auteurs zagen een lage prevalentie van IEI-RF in de bestudeerde populatie. De prevalentie varieerde niet sterk in de loop van de tijd, maar er was een sterk aspect van verandering: gedurende 10 jaar was er een grote kans dat de symptomen niet meer werden toegeschreven aan blootstelling aan RF-EMF. IEI-RF lijkt een meer voorbijgaande aandoening te zijn dan eerder werd aangenomen.

3.3 CASE REPORT: HET MICROGOLFSYNDROOM NA INSTALLATIE VAN 5G BEKLEMTOONT DE NOODZAAK VAN BESCHERMING TEGEN RADIOFREQUENTIESTRALING

Hardell, L., Nilsson, M. (2023). Annal of Case Reports, 8, 1112. https://doi.org/10.29011/2574-7754.101112

In dit geval melden twee voorheen gezonde personen, een man van 63 jaar en een vrouw van 62 jaar, symptomen van het microgolfsyndroom na installatie van een 5G-basisstation voor draadloze communicatie op het dak boven hun appartement. Op dezelfde plek was sinds enkele jaren een basisstation voor eerdere telecommunicatiegeneratietechnologie (3G/4G). Zeer hoge radiofrequente (RF) straling met maximale (hoogst gemeten piekwaarde) niveaus van 354.000, 1.690.000 en >2.500.000 µW/m2 werd drie keer gemeten in de slaapkamer op slechts 5 meter onder het nieuwe 5G-basisstation , vergeleken met maximum (piek) 9 000 µW/m2 vóór de uitrol van 5G. De snel opkomende symptomen na de inzet van 5G waren typerend voor het microgolfsyndroom met bijvoorbeeld neurologische symptomen, tinnitus, vermoeidheid, slapeloosheid, emotionele stress, huidaandoeningen en bloeddrukschommelingen. Bij de vrouw waren de symptomen meer uitgesproken. Vanwege de ernst van de symptomen verliet het paar hun woning en verhuisde naar een kleine kantoorruimte met een maximale (piek) RF-straling van 3 500 µW/m2. Binnen een paar dagen verminderden de meeste van hun symptomen of verdwenen ze volledig. Deze anamnese kan worden beschouwd als een klassieke provocatietest. De RF-stralingsniveaus in het appartement lagen ver onder de limiet die als "veilig" werd voorgesteld en waaronder geen gezondheidseffecten zouden optreden, aanbevolen door de Internationale Commissie voor niet-ioniserende straling (ICNIRP). Deze nu gepresenteerde symptomen van het microgolfsyndroom werden veroorzaakt door niet-thermische effecten van RF-straling en benadrukken dat de ICNIRP-richtlijnen die in de meeste landen, waaronder Zweden, worden gebruikt, de menselijke gezondheid niet beschermen. Richtlijnen op basis van alle biologische negatieve effecten van RF-straling zijn dringend nodig, evenals monitoring van de menselijke gezondheid, niet in de laatste plaats vanwege de snel toenemende blootstellingsniveaus.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Een case-rapport kan bias en confounding niet uitsluiten en moet daarom met de nodige voorzichtigheid worden benaderd wat betreft de causaliteit.

4 HUMAAN EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

4.1 EFFECT VAN ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS OP AUDITIEVE HERSENSTAMRESPONS

Varshney, S., Angral, S., Aggarwal, P. et al. (2023). Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery, in press. https://doi.org/10.1007/s12070-022-03384-8

Achtergrond en doel: Mobiele telefoons worden gebruikt door ongeveer 70% van de wereldbevolking. Een eenvoudige niet-invasieve procedure om vroegtijdige stoornissen van de akoestische zenuw en gehoor te detecteren route is door de auditieve hersenstamrespons (ABR). Het is een reactie op de geluidsprikkel die door de hersenstam wordt gegenereerd in de vorm van elektrische impulsen. Om het effect van langdurig gebruik van mobiele telefoons op auditieve hersenstamreacties (ABR's) te bepalen, werd dit epidemiologisch, cross-sectioneel onderzoek uitgevoerd in een ziekenhuis voor tertiaire zorg.

Methoden: 865 personen tussen 18 en 45 jaar die gedurende > 2 jaar mobiele telefoons gebruikten, werden ingedeeld in verschillende groepen op basis van het aantal minuten mobiel gebruik per dag, het aantal jaren mobiel gebruik en de totale duur van het gebruik van mobiele telefoons in dominante (mobiele gebruikende) en niet-dominante (niet-mobiele gebruikende) oren. De veranderingen in ABR werden in elk oor bestudeerd om het effect van blootstelling aan EMV als gevolg van chronisch gebruik van mobiele telefoons vast te stellen.

Resultaten: De gemiddelde leeftijd van de proefpersonen was 27,01 jaar. (M: F = 1,57:1,0). Bereik van het gebruik van mobiele telefoons was van 4 tot 900 min/dag, met een gemiddelde van 85,94 min/dag. Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen dominante en niet-dominante oren met betrekking tot de amplitudes van golf I, III en V, latenties van golf I en V en interpieklatentie (IPL) van golf I, III, III-V en I-V . Geen statistisch significant verschil voor I–III, III–V en I–V IPL werd gevonden met twee groepen/oren behalve voor gebruik van mobiele telefoon gedurende > 180 min/dag in golf I–V, gebruik gedurende 0–4 jaar in golf I– III en I–V en netto gebruiksuren voor > 1500 u in golf I–V. De gemiddelde IPL in alle golven neemt toe met de toename van het aantal jaren mobiel gebruik en is maximaal in alle golven bij > 12 jaar mobiele gebruikers.

Conclusie: De langdurige blootstelling aan EMV veroorzaakt meetbare veranderingen in ABR's. Amplitude en IPL's van ABR bleken vergelijkbaar te zijn tussen de dominante en niet-dominante oren die mobiele telefoons gebruiken, behalve voor degenen die > 180 min/dag mobiel gebruik maken en met toenemende jaren van gebruik van mobiele telefoons. Daarom moet verstandig gebruik van mobiele telefoons worden aangemoedigd voor een kortere periode en alleen voor essentiële doeleinden.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: De auteurs vermelden dat de blootstelling werd gemeten via een vragenlijst, ingevuld door de deelnemers: “Geef voor alle jaren het aantal dagelijkse telefoongesprekken en de gebruiksminuten per dag”. Zowel de zelfrapportage als het zich baseren op zeer gedetailleerde herinneringen kunnen veel vertekening geven.

5 ALGEMEEN BESLUIT

Het meeste epidemiologische onderzoek ondersteunt geen verband tussen radiofrequente elektromagnetische straling en negatieve gezondheidseffecten. De kwaliteit van de studies is echter vaak pover en meer onderzoek met een robuuste methodologische aanpak is nodig.

REFERENTIES

Chu, K.Y., Khodamoradi, K., Blachman-Braun, R. et al. (2023). EFFECT OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION EMITTED BY MODERN CELLPHONES ON SPERM MOTILITY AND VIABILITY: AN IN VITRO STUDY. *European Urology Focus*, 9, 69-74. https://doi.org/10.1016/j.euf.2022.11.004

Durham, A.R., Tooker, E.L., Patel, N.S., Gurgel, R.K. (2023). EPIDEMIOLOGY AND RISK FACTORS FOR DEVELOPMENT OF SPORADIC VESTIBULAR SCHWANNOMA. *Otolaryngologic Clinics of North America*, in press. https://doi.org/10.1016/j.otc.2023.02.003

Gangwar, V., Gupta, S., Verma, M. et al. (2023). ASSOCIATION OF AUTONOMIC BALANCE WITH PHONE CALL DURATION IN HEALTHY INDIVIDUALS. Cureus, 15(1): e33566. https://doi.org/10.7759/cureus.33566

Hardell, L., Nilsson, M. (2023). CASE REPORT: THE MICROWAVE SYNDROME AFTER INSTALLATION OF 5G EMPHASIZES THE NEED FOR PROTECTION FROM RADIOFREQUENCY RADIATION. Annal of Case Reports, 8, 1112. https://doi.org/10.29011/2574-7754.101112

Moon, J. (2023). THE RELATIONSHIP BETWEEN RADIOFREQUENCY-ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM CELL PHONES AND BRAIN TUMOR: THE BRAIN TUMOR INCIDENCE TRENDS IN SOUTH KOREA. *Environmental Research*, 226. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115657

Ramezanifar, S., Beyrami, S., Mehrifar, Y., Ramezanifar, E., Soltanpour, Z., et al. (2023). OCCUPATIONAL EXPOSURE TO PHYSICAL AND CHEMICAL RISK ACTORS: A SYSTEMATIC REVIEW OF REPRODUCTIVE PATHOPHYSIOLOGICAL EFFECTS IN WOMEN AND MEN. *Safety and Health at Work*, 14, 17-30. https://orcid.org/0000-0002-0100-7971

Traini, E., Martens, A.L., Slottje, P. (2023). TIME COURSE OF HEALTH COMPLAINTS ATTRIBUTED TO RF-EMF EXPOSURE AND PREDICTORS OF ELECTROMAGNETIC HYPERSENSITIVITY OVER 10 YEARS IN A PROSPECTIVE COHORT OF DUTCH ADULTS. Science of the Total Environment, 856. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159240

Varshney, S., Angral, S., Aggarwal, P. et al. (2023). EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM MOBILE PHONES ON AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE. Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery, in press. https://doi.org/10.1007/s12070-022-03384-8

Zhang, Y., Zhang, Y., Ye, Z., et al. (2023). MOBILE PHONE USE, GENETIC SUSCEPTIBILITY AND NEW-ONSET CHRONIC KIDNEY DISEASES. *International Journal of Public Health,* 68:1605358. https://doi.org/10.3389/ijph.2023.1605358

OVERZICHT VAN DE EXPERIMENTELE STUDIES EN REVIEWS BETREFFENDE DE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN RADIOFREQUENTIE STRALING DIE IN HET EERSTE TRIMESTER VAN 2023 WERDEN GEPUBLICEERD

Seppe Segers, Maryse Ledent & Birgit Mertens

1 REVIEWS

1.1 IN VIVO STUDIES OVER BLOOTSTELLING AAN RADIOFREQUENTE (100 KHZ-300 GHZ) ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN EN KANKER: EEN SYSTEMATISCHE REVIEW

Pinto R, Ardoino L, Villani P, Marino C.
[In Vivo studies on Radiofrequency (100 kHz-300 GHz) Electromagnetic Field Exposure and Cancer: A Systematic Review.] Int J Environ Res Public Health. 2023;20(3):2071. Gepubliceerd 2023 jan 23. doi:10.3390/ijerph20032071.

Door de toenemende blootstelling van de menselijke bevolking aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden is de bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten ervan toegenomen. Het doel van deze systematische review is om via een kwantitatieve analyse een update te geven over de stand van het onderzoek over dit onderwerp en om het verhoogde risico van tumorincidentie bij proefdieren (knaagdieren) te beoordelen waarbij studies in verschillende soorten, stammen, geslachten en genotypes in rekening worden gebracht. De review werd uitgevoerd volgens de PRISMA-richtlijn en individuele studies werden beoordeeld aan de hand van de 'OHAT Risk of Bias Rating Tool for Human and Animal Studies'. In totaal kwamen 27 studies in aanmerking voor de evaluatie van de tumorincidentie; er werd een meta-analyse uitgevoerd op 23 studies om het mogelijke verhoogde risico van zowel kwaadaardige als goedaardige tumoren op systemisch niveau of in verschillende organen/weefsels te evalueren. Er werd in deze meta-analyse voor de meeste weefsels geen significant verband gevonden tussen blootstelling aan RF en een verhoogd/verlaagd risico op kanker. Alleen in het hart, het centraal zenuwstelsel (CZS)/de hersenen en de darmen kon een significant verhoogd/verlaagd risico voor kwaadaardige tumoren worden vastgesteld. De evaluatie van de beschikbare evidentie levert echter weinig of onvoldoende aanwijzingen op voor een verband tussen blootstelling aan RF en het ontstaan van neoplasma's in alle weefsels.

1.2 VERBAND TUSSEN BLOOTSTELLING VAN DE OUDERS AAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN EN HEMATOPOÏETISCHE NEOPLASMEN (LYMFOOM, LEUKEMIE) EN TUMOREN IN HET CENTRALE ZENUWSTELSEL BIJ KINDEREN: EEN SYSTEMATISCHE REVIEW

Morales-Suárez-Varela M, Llopis-Morales A, Doccioli C, Donzelli G.
[Relationship between parental exposure to radiofrequency electromagnetic fields and primarily hematopoietic neoplasms (lymphoma, leukemia) and tumors in the central nervous system in children: a systematic review]. Rev Environ Health. 2023;10.1515/reveh-2022-0248. doi:10.1515/reveh-2022-0248

Het gebruik van laagfrequente elektromagnetische velden is de laatste jaren exponentieel toegenomen als gevolg van technologische ontwikkeling en modernisering. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO)/International Agency for Research on Cancer (IARC) heeft radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV's) geklasseerd als mogelijk kankerverwekkend voor mensen (groep 2B), en recente studies hebben de associatie onderzocht tussen blootstelling aan EMV’s bij ouders en mogelijke gezondheidseffecten bij kinderen, met name de ontwikkeling van tumoren van het centrale zenuwstelsel (CZS). Het doel van deze systematische review was om al het beschikbare bewijsmateriaal over het verband tussen beroepsmatige blootstelling van ouders aan EMV’s en de ontwikkeling van CZS-kanker bij kinderen te verzamelen en dit te evalueren. Deze review werd voorbereid volgens de ‘Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)’ richtlijnen. PubMed, Embase en Web of Science werden doorzocht op artikels gepubliceerd in de periode van januari 1990 tot april 2021. Er werd gezocht op basis van de volgende zoektermen: "occupational" AND "child" AND "electromagnetic" AND "cancer". Zeventien artikels voldeden aan de inclusiecriteria: 13 case-control studies, twee cohortstudies en 2 meta-analyses. De meeste studies vertoonden verschillende methodologische tekortkomingen. Door een gebrek aan consistentie met betrekking tot de uitkomst en door de heterogeniteit in de onderzochte studies is het bewijsmateriaal voor de effecten van blootstelling van ouders aan EMV’s niet duidelijk. De methodologische heterogeniteit in de wijze waarop de studies zijn uitgevoerd, zou verantwoordelijk kunnen zijn voor het gebrek aan consistentie in de bevindingen. In het algemeen kan op basis van het verzamelde bewijsmateriaal geen conclusie worden getrokken over het verband tussen blootstelling van ouders aan elektromagnetische velden en het optreden van CZS-tumoren bij kinderen.

1.3 GENOTOXISCHE RISICO'S VAN RADIOFREQUENTE STRALING VOOR DE VOORTPLANTING VAN MANNEN.

Kaur P, Rai U, Singh R.
[Genotoxic Risks to Male Reproductive Health from Radiofrequency Radiation.] Cells. 2023;12(4):594. Gepubliceerd 2023 feb 12. doi:10.3390/cells12040594

In onze moderne wereld zijn mobiele telefoons, televisies, magnetrons, radio en draadloze apparaten enz. niet meer weg te denken uit onze dagelijkse levensstijl. Al deze technologieën maken gebruik van radiofrequente (RF) golven en iedereen wordt eraan blootgesteld, aangezien ze

wijd verspreid zijn in de omgeving. Het toenemende risico op mannelijke onvruchtbaarheid baart de menselijke bevolking steeds meer zorgen. Overmatige en langdurige blootstelling aan niet-ioniserende straling kan volgens de auteurs leiden tot genetische effecten op het mannelijke voortplantingssysteem, wat een primitieve factor kan zijn voor het risico op kanker. Er werden reeds verschillende studies naar de mogelijke genotoxische effecten van RF golven uitgevoerd; de resultaten van deze studies zijn echter zeer tegenstrijdig. Deze evaluatie richtte zich daarom op de evalueren van de impact van het radiofrequente elektromagnetische veld (RF-EMV) op het genoom, met mogelijke gevolgen op de mannelijke onvruchtbaarheid. In dit overzicht zijn zowel in vitro als in vivo studies opgenomen waarbij de rol van RF-EMV op het mannelijke voortplantingssysteem werd bestudeerd. Dit omvat door RF-EMV veroorzaakte DNA-schade, vorming van micronuclei, chromosoomafwijkingen, generatie van SCE, enz. Daarnaast werd ook aandacht besteed aan de ROS-generatie na blootstelling aan radiofrequente straling, waarbij een toename van oxidatieve stress, de vorming van basenadducten, DNA-schade in het spermahoofd of problemen met cross-linking tussen DNA en eiwitten werd aangetoond.

2 NEOPLASTISCHE ZIEKTEN

In vivo studies
/
In vitro studies
/
(Anti-)Genotoxiciteits studies
/

3 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

In vivo studies

3.1 EVALUATIE VAN HET EFFECT VAN “JAMMER” STRALING OP HET LEREN EN HET GEHEUGEN VAN MANNELIJKE RATTEN.

Yazdanpanahi M, Namazi A, Shojaeifard MB, Nematolahi S, Pourahmad S.
[Evaluating the Effect of Jammer Radiation on Learning and Memory in Male Rats.] J Biomed Phys Eng. 2023;13(1):29-38. Gepubliceerd 2023 Feb 1. doi:10.31661/jbpe.v0i0.2001-1049

Achtergrond: Eerdere studies toonden aan dat het gebruik van mobiele telefoons het werkgeheugen bij mensen kan aantasten.
Doelstelling: In deze studie werd het effect van radiofrequente straling afkomstig van gewone mobiele “jammers” bestudeerd op het leren en het geheugen van ratten.
Materiaal en methoden: In deze prospectieve studie werden 90 Sprague-Dawley ratten, verdeeld in 9 groepen (N=10): Controle, Sham1st (blootgesteld aan een uitgeschakeld mobiel stoorapparaat op een afstand van 50 of 100 cm/1 dag, 2 uur), Sham2nd (vergelijkbaar met Sham1st, maar gedurende 14 dagen, 2 uur/dag), Experimental1st -50 cm/1 dag &100 cm/1 dag (blootgesteld aan

een ingeschakeld apparaat op een afstand van 50 of 100 cm gedurende 2 uur), Experimental2nd (vergelijkbaar met experimental1st, maar gedurende 14 dagen, 2 uur/dag). De dieren werden de volgende dag getest op leren en werking van het geheugen aan de hand van een shuttlebox. De tijd die een rat nodig had om het donkere gedeelte binnen te gaan werd beschouwd als geheugen.
Resultaten: Het gemiddelde kortetermijngeheugen was bij de experimentele- 50 cm/1 dag korter dan bij de controle- en sham- 50 cm/1 dag (P=0,034), het langetermijngeheugen was vergelijkbaar. Het gemiddelde korte- en langetermijngeheugen was vergelijkbaar in de experimentele- 100 cm/1 dag, controle en sham- 100 cm/1 dag (P>0,05). Het gemiddelde kortetermijngeheugen was vergelijkbaar in de experimentele- 50 cm/14 dagen, controle en sham- 50 cm/14 dagen (P=0,087), maar het langetermijnleergeheugen was korter in de bestraalde groep (P=0,038). De gemiddelde korte en lange termijn waren vergelijkbaar bij experimentele-100 cm/14 dagen, controle of sham 100 cm/14 dagen (P>0,05).
Conclusie: Op basis van hun resultaten concluderen de auteurs dat bij ratten blootgesteld aan "jammer" straling het korte- en langetermijngeheugen was verstoord, wat volgens hun het ongunstige effect van een stoorzender op geheugen en leren aantoonde. De auteurs merkten ook op dat de afstand tot de stralingsbron belangrijker was dan de duur.

3.2 PILOOTSTUDIE NAAR DE LANGETERMIJNEFFECTEN VAN BLOOTSTELLING AAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING OP DE HERSENEN VAN MUIZEN

Spandole-Dinu S, Catrina AM, Voinea OC, et al.
[Pilot Study of the Long-Term Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Exposure on the Mouse Brain.] Int J Environ Res Public Health. 2023;20(4):3025. Gepubliceerd 2023 Feb 9. doi:10.3390/ijerph20043025.

De toenemende vervuiling door radiofrequente (RF) elektromagnetische straling als gevolg van de ontwikkeling en het gebruik van technologieën die RF gebruiken, heeft een debat op gang gebracht over de mogelijke biologische effecten van dit type straling. Van bijzonder belang is de mogelijke invloed op de hersenen, vanwege de nabijheid van communicatieapparatuur bij het hoofd. Het hoofddoel van deze studie was het onderzoeken van de effecten van langdurige blootstelling aan RF op de hersenen van muizen in een simulatie van een reëel scenario in vergelijking met een laboratoriumomgeving. De dieren werden gedurende 16 weken continu blootgesteld aan RF met behulp van een huishoudelijke Wi-Fi-router en een laboratoriumapparaat met een frequentie van 2,45 GHz, en werden vergeleken met een aan een sham-blootgestelde groep. Voor en na de blootstelling ondergingen de muizen gedragstesten (open-veld test en Y-maze); aan het eind van de blootstellingsperiode werden de hersenen verwijderd voor histopathologische analyse en een evaluatie van de DNA-methyleringsniveaus. Langdurige blootstelling van muizen aan 2,45 GHz RF-straling verhoogde hun bewegingsactiviteit, maar veroorzaakte geen significante structurele of morfologische veranderingen in hun hersenen. Globale DNA-methylering was lager bij blootgestelde muizen dan bij muizen in de sham-groep. Verder onderzoek is nodig om de mechanismen achter deze effecten en de mogelijke effecten van RF-straling op de hersenfunctie te begrijpen.

3.3 BESCHERMENDE ROL VAN HISPOLON EN ZIJN DERIVATEN TEGEN APOPTOSE IN CORTICALE NEURONEN GEÏNDUCEERD DOOR ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN 4G MOBIELE TELEFOON

Saka VP, V C, Narayanasamy D.
[Protective role of hispolon and its derivatives against apoptosis in cortical neurons induced by electromagnetic radiation from 4G mobile phone] [published online ahead of print, 2023 Mar 30].
J Biochem Mol Toxicol. 2023;e23351. doi:10.1002/jbt.23351

Blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV) van draadloze apparaten, met name mobiele telefoons, is een potentieel groeiend probleem voor de volksgezondheid. In deze studie werden de neuronale effecten van EMV op primaire corticale neuronen (PCN's) van de cerebrale cortex van neonatale ratten en de beschermende rol van hispolon (HIS) en zijn derivaten onderzocht als maat voor craniale blootstelling tijdens het gebruik van mobiele telefoons. PCN's werden geïsoleerd van neonatale ratten en in cultuur gebracht, en vervolgens gedurende 2 uur blootgesteld aan EMV uitgezonden door een mobiele telefoon met een frequentie van 2100 MHz en een stralingswaarde (SAR) van 1,6 W/Kg in de modus oproepbeantwoording, behandeld met HIS en zijn derivaten. De inductie van apoptose door modulatie van pro- en anti-apoptotische genen via de mitochondriale route en de eventuele bescherming hiertegen door de testcomponenten werd geëvalueerd. Pyrazoolderivaten verminderden apoptose door modulatie van de niveaus van pro- en anti-apoptotische genen door vermindering van de niveaus van reactieve zuurstofspecies (ROS) via mitochondriale schade, hetgeen werd waargenomen in de aan EMV blootgestelde PCN's. De pyrazoolverbindingen bleken antioxidatieve en anti-apoptotische eigenschappen te bezitten. De neuroprotectieve mechanismen van de pyrazoolderivaten kunnen dus verder worden onderzocht, waardoor zij geschikt kunnen zijn als hoofdbestanddelen voor de ontwikkeling van neuroprotectieve formuleringen.

4 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

In vivo studies

4.1 DE EFFECTEN VAN LANGDURIGE PRENATALE BLOOTSTELLING AAN 900, 1800 EN 2100 MHZ ELEKTROMAGNETISCHE VELDSTRALING OP HET MYOCARDIAAL WEEFSEL VAN RATTEN.

Bozok S, Karaagac E, Sener D, Akakin D, Tumkaya L.
[The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800, and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats.] Toxicol Ind Health. 2023;39(1):1-9.
doi:10.1177/07482337221139586

Het is bekend dat draadloze communicatietechnologieën het menselijk leven vergemakkelijken. De schadelijke effecten van elektromagnetische veldstraling (EMV) op het menselijk lichaam mogen echter niet worden genegeerd. In de huidige studie evalueerden de auteurs de effecten van langdurige, prenatale blootstelling aan EMV-straling op het myocardiaal weefsel van ratten bij verschillende blootstellingsduur. In totaal werden 18 zwangere Sprague-Dawley ratten ingedeeld in zes groepen (n = 3 in elke groep). In alle groepen, behalve de controlegroep, werden drie zwangere ratten blootgesteld aan EMV-straling (900, 1800 en 2100 MHz) gedurende 6, 12 en 24 uur gedurende 20 dagen. Na de bevalling werden de pasgeboren mannelijke pups geïdentificeerd en uit elke groep werden willekeurig zes pasgeboren mannelijke pups geselecteerd. Vervolgens werden histopathologische en biochemische analyses van myocardiale stalen uitgevoerd. Bij evaluatie van de 24-uurs prenatale blootstelling aan 900, 1800 en 2100 MHz EMV-straling was de schade aan de hartspier groter in de 2100 MHz EMV-24u-groep dan in de andere groepen. Bij de evaluatie van malondialdehyde (MDA) en glutathion (GSH) niveaus die verband houden met reactieve oxidatieve species (ROS), was het MDA niveau hoger in de 2100 MHz EMV-24u groep vergeleken met de andere groepen. Het GSH-niveau was ook lager in de 2100 MHz EMV-24u-groep. Bij evaluatie van de 6, 12 en 24 uur/dag prenatale blootstelling aan 1800 MHz EMV-straling was de myocardiale schade groter in de 1800 MHz EMV-24 uur groep dan in de overige groepen ($p < 0{,}0001$). Ook het MDA-niveau was hoger in de 1800 MHz EMV-24h-groep vergeleken met de andere groepen, terwijl het GSH-niveau in deze groep lager was. Het myocardiaal weefsel was meer aangetast bij langdurige blootstelling aan EMV-straling bij hoge frequenties. Op basis ven deze gegevens concluderen de auteurs dat de schadelijke effecten van blootstelling aan niet-ioniserende straling op het hartweefsel zullen toenemen met de 5G-technologie.

4.2 EFFECT VAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MODERNE MOBIELE TELEFOONS OP DE BEWEEGLIJKHEID EN LEVENSVATBAARHEID VAN SPERMA: EEN IN VITRO STUDIE

Chu KY, Khodamoradi K, Blachman-Braun R, et al.
[Effect of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Emitted by Modern Cellphones on Sperm Motility and Viability: An in vitro study.] Eur Urol Focus. 2023;9(1):69-74.
doi:10.1016/j.euf.2022.11.004

Achtergrond: Mobiele telefoons zenden radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) uit voor de overdracht van gegevens voor communicatie via sociale media, surfen op het web en het streamen van muziek/podcasts. Het gebruik van Bluetooth oordopjes heeft er waarschijnlijk toe geleid dat mobiele telefoons langer in de broekzakken van mannen blijven zitten. Er wordt verondersteld dat RF-EMV de oxidatieve stress verhoogt en de vorming van vrije radicalen induceert.
Doelstelling: Het bestuderen van het effect van RF-EMV uit het draadloze spectrum (4G, 5G en WiFi) van moderne smartphones op de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma en onderzoeken of deze effecten kunnen worden verminderd door een fysieke barrière of afstand.
Ontwerp, setting en deelnemers: Spermastalen werden verkregen van vruchtbare normozoospermische mannen van 25-35 jaar. Een smartphone van de huidige generatie in gespreksmodus werd gebruikt als RF-EMV-bron. Er werd een WhatsApp-spraakgesprek gevoerd via een draadloze 4G-, 5G- of WiFi-verbinding. De auteurs evalueerden of de RF-geïnduceerde effecten werden verminderd door een telefoonhoesje of een grotere afstand tot het spermastaal.
Resultaatmetingen en statistische analyse: De spermastalen werden geanalyseerd volgens de laboratoriumrichtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie van 2010. Statistische analyse werd uitgevoerd met SPSS v.28.
Resultaten en beperkingen: De auteurs constateerden een afname van de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma bij blootstelling aan WiFi, maar niet bij blootstelling aan 4G of 5G RF-EMV. Gezien de grote variabiliteit tussen smartphones is verder onderzoek naar blootstellingseffecten nodig.
Conclusies: Op basis van deze verkennende studie concludeerden de auteurs dat de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma negatief worden beïnvloed door smartphones die het WiFi-spectrum gebruiken voor datatransmissie.
Samenvatting: De auteurs onderzochten het effect van het gebruik van mobiele telefoons op de beweeglijkheid en levensvatbaarheid van sperma. De auteurs concludeerden dat mobiele telefoons die WiFi-connectiviteit gebruiken voor gegevensgebruik schadelijke effecten hebben op de spermakwaliteit bij mannen.

5 ANDERE EFFECTEN

In vivo studies

5.1 NADELIGE EFFECTEN VAN 900, 1800 EN 2100 MHZ RADIOFREQUENTE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS OP BOTTEN EN SKELETSPIEREN.

Bektas H, Nalbant A, Akdag MB, Demir C, Kavak S, Dasdag S.
[Adverse effects of 900, 1800 and 2100 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phones on bone and skeletal muscle.] Electromagn Biol Med. 2023;42(1):12-20.
doi:10.1080/15368378.2023.2179065

Het doel van deze studie was om biomechanisch en morfologisch onderzoek uit te voeren naar zowel de impact van mobiele telefoonachtige radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) op het scheenbeen als de effecten op de skeletspier via oxidatieve stressparameters. Zesenvijftig ratten (200-250 g) werden in groepen verdeeld: gezonde sham (n = 7), gezonde RF-EMV (900, 1800, 2100 MHz) (n = 21), diabetische sham (n = 7) en diabetische RF-EMV (900, 1800, 2100 MHz) (n = 21). Gedurende een maand bracht elke groep twee uur per dag door in een plexiglas carrousel. De ratten in de experimentele groep werden blootgesteld aan RF-EMV, maar de shamgroepen niet. Aan het einde van het experiment werden de rechterscheenbeenderen en het skeletspierweefsel verwijderd. De driepuntsbuigtest en radiologische evaluaties werden uitgevoerd op de botten, en CAT, GSH, MDA en IMA niveaus in de spieren werden gemeten. Er waren verschillen in biomechanische eigenschappen en radiologische evaluaties tussen de groepen ($p < .05$). Bij de metingen in de spierweefsels werden statistisch significante verschillen gevonden ($p < .05$). De gemiddelde SAR-waarden voor het gehele lichaam voor GSM 900, 1800 en 2100 MHz bedroegen 0,026, 0,164 en 0,173 W/kg. De auteurs concluderen op basis van deze resultaten dat RF-EMV afkomstig van mobiele telefoons schadelijke effecten kan hebben op het scheenbeen en de skeletspieren, maar geven ook aan dat verdere studies nodig zijn.

In vitro studies

5.2 ANALYSE VAN GLOBALE DNA-METHYLERINGSVERANDERINGEN IN MENSELIJKE KERATINOCYTEN ONMIDDELLIJK NA BLOOTSTELLING AAN EEN 900 MHZ RADIOFREQUENTIEVELD

Cantu JC, Butterworth JW, Peralta XG, Payne JA, Echchgadda I.
[Analysis of global DNA methylation changes in human keratinocytes immediately following exposure to a 900 MHz radiofrequency field] [published online ahead of print, 2023 Mar 31]. Bio-elektromagnetica. 2023;10.1002/bem.22439. doi:10.1002/bem.22439

Het toenemende gebruik van niet-ioniserende radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) in een breed scala van technologieën maakt studies noodzakelijk om meer inzicht te krijgen

in de biologische effecten van blootstelling aan dergelijke vormen van elektromagnetische velden. Hoewel eerdere studies mechanismen hebben beschreven voor cellulaire veranderingen die optreden na blootstelling aan RF-EMV van lage intensiteit, werd de rol van moleculaire epigenetica nog niet grondig onderzocht. Met name het effect van RF-EMV op methylering van desoxyribonucleïnezuur (DNA), een krachtig epigenetisch proces dat door cellen wordt gebruikt om de genexpressie te reguleren, is nog niet onderzocht. DNA-methylering is dynamisch en kan snel worden geactiveerd in reactie op externe stimuli zoals blootstelling aan RF-EMV. In deze studie voerden de auteurs een globale analyse uit van DNA-methyleringspatronen in menselijke keratinocyten die gedurende 1 uur werden blootgesteld aan 900 MHz RF-EMV bij een lage dosis (geschatte gemiddelde stralingswaarde (SAR) < 10 mW/kg). De auteurs gebruikten een aangepast systeem om stabiele blootstelling van celculturen aan RF-EMV onder biologisch relevante omstandigheden (37 °C, 5% CO2 , 95% vochtigheid) mogelijk te maken. De auteurs voerden direct na RF-EMV-blootstelling whole genome bisulfite sequencing uit om de onmiddellijke veranderingen in DNA-methyleringspatronen te onderzoeken en vroege differentieel gemethyleerde genen in RF-EMV-blootgestelde keratinocyten te identificeren. Door globale genexpressie te correleren met whole genome bisulfite sequencing identificeerden de auteurs zes gemeenschappelijke targets die zowel gedifferentieerd gemethyleerd waren als gedifferentieerd tot expressie kwamen in reactie op RF-EMV blootstelling. De resultaten wijzen op een mogelijke epigenetische rol in de cellulaire respons op RF-EMV's. Met name de zes geïdentificeerde targets kunnen mogelijk worden ontwikkeld als epigenetische biomarkers voor onmiddellijke reacties op blootstelling aan RF-EMV's.

6 GENERAL COMMENTS

Dit verslag bestaat uit zeven experimentele studies en drie overzichtsartikels over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden. Van twee experimentele studies (Bozok et al., Bektas et al.) en één review (Morales-Suárez-Varela et al.) konden de volledige manuscripten niet worden teruggevonden. De kwaliteit van deze artikels kon bijgevolg niet worden beoordeeld, maar voor de volledigheid werden ze toch in het verslag opgenomen.

In de systematische review met meta-analyse van Pinto et al. onderzochten de auteurs de mogelijke associatie tussen blootstelling aan RF en de incidentie van kanker. In totaal kwamen 27 studies in aanmerking voor de evaluatie van de tumorincidentie en 23 daarvan werden opgenomen in een meta-analyse. Op basis van het resultaat van de meta-analyse concludeerden de auteurs dat er voor de meeste weefsels geen significant verband bestaat tussen blootstelling aan RF en een verminderd/verhoogd kankerrisico. Zij vonden een klein maar significant verhoogd/verlaagd risico voor kwaadaardige tumoren in het hart, het centrale zenuwstelsel/de hersenen en de darmen. In het algemeen concluderen de auteurs dat er slechts weinig of onvoldoende bewijs is voor een verband tussen RF-blootstelling en het ontstaan van neoplasma's in alle weefsels.

Kaur et al. publiceerden een narratieve review over het genotoxische effect van RF-straling op de mannelijke vruchtbaarheid. De auteurs concluderen dat de review bevestigt dat RF genotoxiciteit kan induceren die ten grondslag ligt aan mannelijke onvruchtbaarheid, maar dat een plausibel mechanisme nog niet bekend is. Dit is echter een narratieve review, en geen systematische review met meta-analyse. De auteurs maken geen opmerkingen over de kwaliteit van de geïncludeerde

studies en over de mogelijke methodologische tekortkomingen. Bovendien hebben de auteurs studies met veel verschillende golflengten van RF-EMV opgenomen en samen beschouwd. Ook moet worden opgemerkt dat Kaur et al. in hun zoekstrategie het specifieke woord "radiofrequente straling" gebruikten. Bijgevolg zouden studies die niet het woord "straling" maar andere termen zoals "radiofrequente elektromagnetische velden" gebruiken, gemist kunnen zijn. Een aantal incorrecte statements in de abstract wijzen er bovendien op dat de auteurs mogelijk het concept genotoxiciteit niet correct beheersen.

Zoals eerder vermeld, kon de volledige tekst van de review van Morales-Suárez-Varela et al. niet worden teruggevonden en konden de methodologie en de resultaten van deze review dus niet worden geëvalueerd.

De meeste in dit verslag gepresenteerde experimentele studies hadden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies omvatten geen of slechte dosimetrieberekeningen (Yazdanpanahi et al., Saka et al., Chu et al. Lin et al.) of gebruikten blootstellingssystemen die niet geschikt waren voor het type experiment dat zij uitvoerden (Yazdanpanahi et al., Spandole-Dinu et al. Saka et al. Chu et al.) of niet representatief waren voor de blootstelling die mensen dagelijks zouden ervaren (Lin et al.). Bij sommige studies was het onduidelijk of de juiste sham-condities werden gebruikt (Saka et al. Chu et al. Lin et al.). Ook werden in de meeste studies niet de juiste geblindeerde testomstandigheden gebruikt (Yazdanpanahi et al. Saka et al., Chu et al., Lin et al.) of werden deze slechts voor een deel van de testen toegepast (Spandole-Dinu et al.).
Bovendien werd in de meeste experimenten (Yazdanpanahi et al., Spandole-Dinu et al., Saka et al., Chu et al., Cantu et al., Lin 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, waardoor geen rekening kon worden gehouden met mogelijke verwarming van het staal door RF-EMV. Bij de meeste studies werd de omgevingstemperatuur in de kamer gecontroleerd.

Een studie die rekening hield met de meeste kwaliteitscriteria was die van Cantu et al. Zij onderzochten de epigenetische veranderingen na blootstelling aan RF-EMV in menselijke keratinocyten en konden een verband leggen met veranderingen in genexpressie. Dit is belangrijk omdat dit een van de eerste studies is op het gebied van epigenetica en RF-EMV. Hoewel het directe verband tussen epigenetische effecten en gezondheidseffecten nog niet duidelijk is, zou het een veelbelovend gebied voor verder onderzoek kunnen zijn.

Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks te koppelen aan menselijke gezondheidsresultaten, 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 waarborgen.

In de nabije toekomst zullen de in opdracht van de WHO uitgevoerde systematische reviews 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 hitte-gerelateerde ziekten. Dit moet ons meer inzicht geven in welke onderwerpen nader moeten worden bestudeerd.

Op basis van de resultaten van de in dit verslag gepresenteerde studies kunnen wij geen conclusie formuleren over de biologische schadelijke effecten van RF, noch over de gezondheidseffecten.

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.

REFERENTIES

Pinto R, Ardoino L, Villani P, Marino C.
[In Vivo studies on Radiofrequency (100 kHz-300 GHz) Electromagnetic Field Exposure and Cancer: A Systematic Review.] Int J Environ Res Public Health. 2023;20(3):2071. Gepubliceerd 2023 jan 23. doi:10.3390/ijerph20032071.

Morales-Suárez-Varela M, Llopis-Morales A, Doccioli C, Donzelli G.
[Relationship between parental exposure to radiofrequency electromagnetic fields and primarily hematopoietic neoplasms (lymphoma, leukemia) and tumors in the central nervous system in children: a systematic review]. Rev Environ Health. 2023;10.1515/reveh-2022-0248. doi:10.1515/reveh-2022-0248

Kaur P, Rai U, Singh R.
[Genotoxic Risks to Male Reproductive Health from Radiofrequency Radiation.] Cells. 2023;12(4):594. Gepubliceerd 2023 feb 12. doi:10.3390/cells12040594

Yazdanpanahi M, Namazi A, Shojaeifard MB, Nematolahi S, Pourahmad S.
[Evaluating the Effect of Jammer Radiation on Learning and Memory in Male Rats.] J Biomed Phys Eng. 2023;13(1):29-38. Gepubliceerd 2023 Feb 1. doi:10.31661/jbpe.v0i0.2001-1049

Spandole-Dinu S, Catrina AM, Voinea OC, et al.
[Pilot Study of the Long-Term Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Exposure on the Mouse Brain.] Int J Environ Res Public Health. 2023;20(4):3025. Gepubliceerd 2023 Feb 9. doi:10.3390/ijerph20043025.

Saka VP, V C, Narayanasamy D.
[Protective role of hispolon and its derivatives against apoptosis in cortical neurons induced by electromagnetic radiation from 4G mobile phone] [published online ahead of print, 2023 Mar 30]. J Biochem Mol Toxicol. 2023;e23351. doi:10.1002/jbt.23351

Bozok S, Karaagac E, Sener D, Akakin D, Tumkaya L.
[The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800, and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats.] Toxicol Ind Health. 2023;39(1):1-9. doi:10.1177/07482337221139586

Chu KY, Khodamoradi K, Blachman-Braun R, et al.
[Effect of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Emitted by Modern Cellphones on Sperm Motility and Viability: An in vitro study.] Eur Urol Focus. 2023;9(1):69-74. doi:10.1016/j.euf.2022.11.004

Bektas H, Nalbant A, Akdag MB, Demir C, Kavak S, Dasdag S.
[Adverse effects of 900, 1800 and 2100 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phones on bone and skeletal muscle.] Electromagn Biol Med. 2023;42(1):12-20. doi:10.1080/15368378.2023.2179065

Cantu JC, Butterworth JW, Peralta XG, Payne JA, Echchgadda I.
[Analysis of global DNA methylation changes in human keratinocytes immediately following

exposure to a 900 MHz radiofrequency field] [published online ahead of print, 2023 Mar 31]. Bio-elektromagnetica. 2023;10.1002/bem.22439. doi:10.1002/bem.22439

OVERZICHT VAN DE EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMANE EXPERIMENTELE STUDIES NAAR DE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING – TWEEDE KWARTAAL 2023.

Dr. Els De Waegeneer

1 OVERZICHTSSTUDIES EN META-ANALYSES

1.1 EXPOSURES TO RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND THEIR IMPACT ON CHILDREN'S HEALTH.

Lim, H., Choi, J., Joo, H., Ha, M. (2023). *Current Opinion in Environmental Science and Health, 32*. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100456

Achtergrond en doelstellingen: De mogelijke gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling op kinderen zijn een publieke zorg geworden vanwege de biologische kwetsbaarheid van zich ontwikkelende kinderen. Om het bewijs voor mogelijke nadelige gezondheidseffecten op kinderen te evalueren, hebben de auteurs systematisch epidemiologische studies beoordeeld en kort de experimentele dier- of mechanistische studies besproken.

Methoden: Met behulp van een zoekstrategie en een beoordeling van het risico op vooringenomenheid (bias) vatten de auteurs de bestaande gegevens over kanker, geboorte-uitkomst, neurocognitieve ontwikkeling en gedragsproblemen samen.

Resultaten: Er was onvoldoende bewijs om de mogelijks nadelige effecten vast te stellen. Recente grootschalige dierstudies hebben kankerverwekkende bevindingen aangetoond, maar het biologische mechanisme is nog niet opgehelderd.

Conclusie: Er is een goed opgezette toekomstige studie nodig om hoogwaardig wetenschappelijk bewijs te leveren van de mogelijke schadelijke effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische straling bij kinderen.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: De auteurs onderstrepen terecht de lage tot matige niveaus van risico-op-bias-beoordeling in de meeste epidemiologische studies, wat inderdaad een terugkerend probleem is in dit onderzoeksgebied. Hun oproep om de blootstellingsbeoordeling en onderzoeksopzet te verbeteren verdient veel aandacht.

1.2 EFFECTS OF MAN-MADE ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HEART RATE VARIABILITY PARAMETERS OF GENERAL PUBLIC: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS OF EXPERIMENTAL STUDIES

Mansourian, M., Marateb, H., Nouri, R., Mansourian, M. (2023). *Review of Environmental Health, ahead of publishing.* https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0191

Achtergrond en doelstellingen: De effecten van door de mens veroorzaakte elektromagnetische velden (EMV's) op het cardiovasculaire systeem zijn in veel studies onderzocht. In dit opzicht was de activiteit van het cardiale autonome zenuwstelsel (ANS) als gevolg van blootstelling aan EMV's, beoordeeld aan de hand van hartslagvariabiliteit (HRV), in sommige onderzoeken de focus. De onderzoeken naar de relatie tussen elektromagnetische velden en HRV hebben tegenstrijdige resultaten opgeleverd. De auteurs voerden een systematische review en meta-analyse uit om de consistentie van de gegevens te beoordelen en de associatie tussen EMV's en HRV-metingen te identificeren.

Methoden: gepubliceerde literatuur uit vier elektronische databases, waaronder Web of Science, PubMed, Scopus, Embase en Cochrane, werd verzameld en gescreend.

Resultaten: Aanvankelijk werden 1601 artikelen teruggevonden. Na de screening kwamen 15 oorspronkelijke onderzoeken in aanmerking voor opname in de meta-analyse. De onderzoeken evalueerden de associatie tussen EMV's en SDNN (standaarddeviatie van NN-intervallen), SDANN (standaarddeviatie van de gemiddelde NN-intervallen voor elk segment van 5 minuten van een 24-uurs HRV-opname) en PNN50 (percentage van opeenvolgende RR-intervallen dat verschilt per meer dan 50 ms). Er was een afname in SDNN (ES=−0.227 [−0.389, −0.065], p=0.006), SDANN (ES=−0.526 [−1.001, −0.05], p=0.03) en PNN50 (ES=−0.287 [-0,549, -0,024]). Er was echter geen significant verschil in LF (ES=0,061 (−0,267, 0,39), p=0,714) en HF (ES=−0,134 (0,581, 0,312), p=0,556). Bovendien werd er geen significant verschil waargenomen in LF/HF (ES=0,079 (−0,191, 0,348), p=0,566).

Conclusie: Deze meta-analyse suggereert dat blootstelling aan kunstmatige EMV's uit de omgeving significant zou kunnen correleren met de SDNN-, SDANN- en PNN50-indices. Daarom is aanpassing van levensstijl essentieel bij het gebruik van apparaten die EMV's uitzenden, zoals mobiele telefoons, om bepaalde tekenen en symptomen als gevolg van het effect van EMV op HRV te verminderen.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Aangezien de kenmerken en effecten van verschillende delen van het niet-ioniserende elektromagnetische spectrum aanzienlijk verschillen, moeten ze afzonderlijk worden beoordeeld en niet als gelijkaardige types van EMV’s worden behandeld. Deze studie haalt de verschillende soorten EMV door elkaar en daarmee hun mogelijke effecten.

1.3 ELECTROMAGNETIC FIELDS EXPOSURE ON FETAL AND CHILDHOOD ABNORMALITIES: SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

Kashani, Z.A., Pakzad, R., Fakari, F.R. , et al. (2023). *Open Medicine, 18.*
https://doi.org/10.1515/med-2023-0697

Achtergrond en doel: Tegenwoordig worden mensen vaak blootgesteld aan elektromagnetische golven, die ongewenste effecten kunnen hebben op celcomponenten die leiden tot differentiatie en afwijkingen in celproliferatie, DNA-schade, chromosomale afwijkingen, kankers en geboorteafwijkingen. Deze studie was gericht op het onderzoeken van het effect van elektromagnetische golven op foetale afwijkingen en afwijkingen in de kindertijd.

Methoden: PubMed, Scopus, Web of Science, ProQuest, Cochrane Library en Google Scholar werden doorzocht op 1 januari 2023. De Cochran's Q-test en I 2-statistieken werden toegepast om heterogeniteit te beoordelen, een random-effects-model werd gebruikt om de gepoolde odds ratio (OR), gestandaardiseerd gemiddeld verschil (SMD) en gemiddeld verschil voor verschillende uitkomsten, en een meta-regressiemethode werden gebruikt om de factoren te onderzoeken die de heterogeniteit tussen studies beïnvloeden.

Resultaten: In totaal werden 14 onderzoeken in de analyse opgenomen en de onderzochte uitkomsten waren: verandering in genexpressie, oxidantparameters, antioxidantparameters en DNA-schadeparameters in het navelstrengbloed van de foetus en foetale ontwikkelingsstoornissen, kankers en ontwikkelingsstoornissen bij kinderen. Over het geheel genomen kwamen foetale afwijkingen en afwijkingen in de kindertijd vaker voor bij ouders die zijn blootgesteld aan elektromagnetische velden dan bij ouders die dat niet hebben gedaan (SMD en 95% betrouwbaarheidsinterval [BI], 0,25 [0,15-0,35]; I2, 91%) . Bovendien foetale ontwikkelingsstoornissen (OR, 1,34; CI, 1,17-1,52; I 2, 0%); kanker (OR, 1,14; CI, 1,05-1,23; I2, 60,1%); ontwikkelingsstoornissen bij kinderen (OR, 2,10; CI, 1,00-3,21; I 2, 0%); veranderingen in genexpressie (gemiddeld verschil [MD], 1,02; CI, 0,67–1,37; I2, 93%); oxidantparameters (MD, 0,94; CI, 0,70-1,18; I2, 61,3%); en DNA-schadeparameters (MD, 1,01; CI, 0,17-1,86; I2, 91,6%) bij ouders die zijn blootgesteld aan elektromagnetische velden waren hoger dan die bij ouders die dat niet hebben gedaan. Volgens meta-regressie heeft het publicatiejaar een significant effect op de heterogeniteit (coëfficiënt: 0,033; 0,009–0,057). Blootstelling van de moeder aan elektromagnetische velden, vooral in het eerste trimester van de zwangerschap, vanwege het hoge aantal stamcellen en hun hoge gevoeligheid voor deze straling, toonden de biochemische parameters van het onderzochte navelstrengbloed verhoogde oxidatieve stressreacties, veranderingen in eiwitgenexpressie, DNA-schade en verhoogde embryonale afwijkingen. Bovendien kan blootstelling van ouders aan ioniserende en niet-ioniserende straling leiden tot de versterking van verschillende celgebaseerde kankers en ontwikkelingsstoornissen zoals spraakproblemen in de kindertijd.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Aangezien de kenmerken en effecten van verschillende delen van het ioniserende elektromagnetische spectrum aanzienlijk verschillen, moeten ze afzonderlijk worden beoordeeld en niet als gelijkaardige bronnen/types van blootstelling worden behandeld. Deze studie haalt de verschillende soorten EMV door elkaar en daarmee hun mogelijke

effecten. Het feit dat zelfs ioniserende straling in dezelfde review en meta-analyse in aanmerking wordt genomen, is zeer zorgwekkend, aangezien dit een bekende kankerverwekkende stof is. Naast de verschillende soorten EMV is ook de rol van de deelnemers aan de onderzoeken zeer divers: zowel beroepsmatige als residentiële blootstelling worden tegelijkertijd in aanmerking genomen.

2 GSM-GEBRUIK

2.1 IMPACT OF RADIOFREQUENCY EXPOSURE FROM MOBILE PHONES ON THE RISK OF DEVELOPING BRAIN TUMORS IN KOREAN AND JAPANESE ADOLESCENTS: A MOBI-KIDS CASE-CONTROL STUDY

Kojimaharaa, N., Leeb, Y.-H., Lee, A.-K., Bae, S. et al. (2023). *Journal of Epidemiology, online ahead of print.* https://doi.org/10.2188/jea.je20230005

Doel: Deze studie was gericht op het onderzoeken van het verband tussen het risico op hersentumoren en blootstelling aan radiofrequentie (RF) van mobiele telefoons onder jongeren in Korea en Japan.

Methoden: Deze case-control studie van hersentumoren bij jongeren werd uitgevoerd in Korea en Japan in het kader van de internationale MOBI-Kids studie. De auteurs includeren 118 patiënten met de diagnose hersentumor tussen 2011 en 2015 en 236 gematchte appendicitis-controles in de leeftijd van 10-24 jaar. Via face-to-face interviews werd informatie over het gebruik van mobiele telefoons verzameld. Een gedetailleerd RF-blootstellingsalgoritme, gebaseerd op het MOBI-Kids-algoritme en aangepast aan de specifieke kenmerken van Japanse en Koreaanse telefoons en netwerken, werd gebruikt om de odds ratio's (OR's) voor totale cumulatieve specifieke energie te berekenen met behulp van voorwaardelijke logistische regressie.

Resultaten: De gecorrigeerde OR's in het hoogste tertiel van cumulatieve beltijd 1 jaar voor de peildatum waren 1,61 (95% betrouwbaarheidsinterval [BI], 0,72-3,60) voor alle hersentumoren en 0,70 (95% BI, 0,16-3,03) voor gliomen, zonder indicatie van een trend met blootstelling. De OR's voor specifiek glioom waren lager dan 1 in de laagste blootstellingscategorie.

Conclusies: Deze studie leverde geen bewijs voor een oorzakelijk verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en het risico op hersentumoren in het algemeen of glioom in het bijzonder. Verder onderzoek zal nodig zijn om de impact van nieuwere communicatietechnologieën in de toekomst te evalueren.

2.2 THE ASSOCIATION BETWEEN REAL-LIFE MARKERS OF PHONE USE AND COGNITIVE PERFORMANCE, HEALTH-RELATED QUALITY OF LIFE AND SLEEP

Eeftens, M., Pujol, S., Klaiber, A., et al. (2023). *Environmental Research, 231.*

https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116011

Achtergrond en doelstellingen: De r korte termijnimplicaties van elektromagnetische velden (RF-EMF) op cognitieve prestaties en levenskwaliteit leven zijn niet goed bestudeerd. De SPUTNIC-studie (Studiepanel over opkomende technologieën om niet-ioniserende straling en cognitie te bestuderen) was gericht op het onderzoeken van mogelijke correlaties tussen straling van mobiele telefoons en gezondheid, waaronder cognitie, levenskwaliteit en slaap.

Methoden: Volwassen deelnemers werden gevolgd aan de hand van dagelijkse markers van blootstelling aan RF-EMF (draadloos bellen, mobiel bellen en mobiele schermtijd 4 uur voorafgaand aan elke beoordeling), evenals aan de hand van drie gezondheidsresultaten gedurende tien studiedagen: 1) cognitieve prestaties, 2) levenskwaliteit (HRQoL), en 3) slaapduur en -kwaliteit. Cognitieve prestaties werden gemeten door middel van zes "game-achtige" tests, waarbij verbale en visueel-ruimtelijke prestaties herhaaldelijk werden beoordeeld. Levenskwaliteit werd beoordeeld als vermoeidheid, stemming en stress op een Likert-schaal (1-10). Slaapduur en -efficiëntie werden gemeten met behulp van activity trackers. De auteurs pasten gemengde modellen toe met willekeurige onderscheppingen per deelnemer op cognitieve, levenskwaliteit- en slaapscores. Mogelijke in de tijd variërende confounders werden met dagelijkse tussenpozen beoordeeld door middel van een vragenlijst en gebruikt voor modelaanpassing.

Resultaten: Uiteindelijk namen 121 deelnemers deel aan de SPUTNIC-studie, waaronder 63 uit Besançon en 58 uit Bazel. Zelfgerapporteerd gebruik van mobiele telefoons en schermtijd werden sporadisch geassocieerd met visueel-ruimtelijke en verbale cognitieve prestaties, compatibel met toevallige bevindingen. De auteurs vonden een kleine maar robuuste significante toename van stress 0,03 (0,00-0,06; op een 1-10 Likert-schaal) in verhouding tot een toename van 10 minuten in de schermtijd van mobiele telefoons. Slaapduur en -kwaliteit waren niet geassocieerd met draadloze of mobiele telefoongesprekken, of met schermtijd.

Conclusie: De studie vond geen associaties tussen RF-EMF-markers op korte termijn en cognitieve prestaties, levenskwaliteit of slaapduur en -kwaliteit. De meest consistente bevinding was verhoogde stress in relatie tot meer schermtijd, maar er was geen verband met draadloze of mobiele telefoongesprekken.

2.3 ELECTROMAGNETIC FIELDS - DO THEY POSE A CARDIOVASCULAR RISK?

Parizek, D., Visnovcova, N., Hamza, K. et al. (2023). *Physiological Research, 72*, 199-208.
https://doi.org/10.33549/physiolres.934938

Achtergrond en doel: Mobiele draadloze communicatietechnologieën zijn nu een alledaags onderdeel van ons leven geworden. Het monitoren van het autonome systeem onder blootstelling aan elektromagnetische velden kan een belangrijke rol spelen bij het verbreden van onze nog beperkte kennis over hun effect op het menselijk lichaam. Daarom bestudeerden de auteurs de interactie van het hoogfrequente elektromagnetische veld (HF-EMF) met het menselijk lichaam en het effect ervan op de autonome controle van de hartslag met behulp van lineaire en niet-lineaire analyses van de hartslagvariabiliteit (HRV) bij gezonde vrijwilligers.

Methoden: Een groep jonge gezonde proefpersonen (n=30, leeftijdsgemiddelde: 24,2 ± 3,5 jaar) zonder enige ziektesymptomen werd blootgesteld aan EMV met f=2400 MHz (wifi) en f=2600 MHz (4G) voor 5 minuten aangebracht op de borst. De metrieken van de kortetermijnhartslagvariabiliteit (HRV) werden gebruikt als een indicator van complexe cardiale autonome controle. De geëvalueerde HRV-parameters waren RR-interval (ms), hoogfrequent spectraal vermogen (HF-HRV in [ln(ms2)]) als een index van cardiovagale controle, en een symbolische dynamische index van 0V%, die cardiale sympathische activiteit aangeeft.

Resultaten: de cardiale parasympathische index HF-HRV was significant verlaagd (p=0,036) en sympathisch gemedieerde HRV-index 0V% was significant hoger (p=0,002) tijdens blootstelling aan EMF op 2400 MHz (Wi-Fi), vergeleken met gesimuleerde 4G frequentie 2600 MHz. Er werden geen significante verschillen gevonden in de RR-intervallen. Deze resultaten toonden een verschuiving in cardiale autonome regulatie naar sympathische overactiviteit en parasympathische onderactiviteit geïndexeerd door HRV-parameters tijdens blootstelling aan EMV bij jonge gezonde personen.

Conclusie: Het lijkt erop dat blootstelling aan H-EMF resulteert in een abnormaal complexe cardiale autonome regulatie-integriteit, wat geassocieerd kan zijn met een hoger risico op latere cardiovasculaire complicaties, al bij gezonde proefpersonen.

Commentaar van dr. Els De Waegeneer: Het onderzoeksprotocol in deze studie is onderhevig aan heel wat vooroordelen en fouten. Zo werd elke persoon maar één keer getest vanwege de lange tijd die nodig was voor elke meting. Bovendien was de laboratoriumruimte niet elektromagnetisch afgeschermd. Noch de testpersoon, noch de onderzoeker waren blind voor de blootstellingsomstandigheden. De auteurs benoemen geen van deze beperkingen in hun studie, wat zorgwekkend is. Al deze elementen kunnen een aanzienlijk effect hebben op de uitkomst en daarom moeten de resultaten met de nodige voorzichtigheid worden behandeld. Er is meer onderzoek over het onderwerp nodig, rekening houdend met deze vooroordelen en fouten.

3 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING

3.1 PREVALENCE OF MIGRAINE DISEASE IN ELECTROHYPERSENSITIVE PATIENTS

Grecco, F., Garnier, O., Macioce, V., Picot M.-C. (2023). *Journal of Clinical Medicine, 12*, 4092. https://doi.org/10.3390/jcm12124092

Achtergrond en doelstellingen: De overgrote meerderheid van elektrohypersensitieve (EHS) patiënten vertoont hoofdpijn bij contact met een elektromagnetische bron. Klinische kenmerken suggereren dat de hoofdpijn van deze patiënten een variant van migraine zou kunnen zijn en als zodanig zou kunnen worden behandeld. De auteurs wilden de prevalentie van migraine bij EHS-patiënten beoordelen met behulp van een gevalideerde vragenlijst.

Methoden: Patiënten met EHS gedefinieerd volgens de WHO-criteria werden gecontacteerd via EHS-patiëntenverenigingen. Ze moesten zelf een vragenlijst beantwoorden met inbegrip van klinische gegevens en de uitgebreide Franse versie van de ID Migraine-vragenlijst (ef-ID Migraine) om te screenen op migraine. De prevalentie van migraine en het 95% betrouwbaarheidsinterval (BI) werden gerapporteerd. Patiëntkenmerken, symptomen (reumatologie, spijsvertering, cognitief, respiratoir, cardiaal, gemoedstoestand, huid, hoofdpijn, perceptie, genitale, tinnitus en vermoeidheid) en impact op het dagelijks leven werden vergeleken tussen migrainepatiënten en niet-migrainepatiënten.

Resultaten: In totaal werden 293 patiënten geïncludeerd (97% vrouwen, gemiddelde leeftijd 57 ± 12 jaar). Migraine werd gediagnosticeerd bij 65% (N = 191; 95% BI: 60-71%) met de ef-ID Migraine. De diagnose migraine ging gepaard met misselijkheid/braken in 50% van de gevallen, fotofobie in 69% of visusstoornissen in 38%. Alle 12 beoordeelde symptomen waren van hogere intensiteit bij migrainepatiënten dan bij niet-migrainepatiënten. De symptomen verhinderden het sociale leven bij 88% van de migrainepatiënten en 75% van de niet-migrainepatiënten ($p < 0,01$).

Conclusies: Dit werk moedigt aan om de hoofdpijn van deze patiënten te beschouwen als een mogelijke variant van migraine en ze mogelijks te behandelen volgens de huidige aanbevelingen hieromtrent.

4 HUMAAN EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

/

5 GENERAL CONCLUSION

Het meeste epidemiologische onderzoek ondersteunt geen verband tussen radiofrequente elektromagnetische straling en negatieve gezondheidseffecten. De kwaliteit van de studies is echter vaak slecht en meer onderzoek met een robuuste methodologische aanpak is hard nodig.

REFERENTIES

Eeftens, M., Pujol, S., Klaiber, A., et al. (2023). THE ASSOCIATION BETWEEN REAL-LIFE MARKERS OF PHONE USE AND COGNITIVE PERFORMANCE, HEALTH-RELATED QUALITY OF LIFE AND SLEEP. *Environmental Research, 231*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116011

Grecco, F., Garnier, O., Macioce, V., Picot M.-C. (2023). PREVALENCE OF MIGRAINE DISEASE IN ELECTROHYPERSENSITIVE PATIENTS. *Journal of Clinical Medicine, 12,* 4092. https://doi.org/10.3390/jcm12124092

Kashani, Z.A., Pakzad, R., Fakari, F.R. , et al. (2023). Open Medicine, 18. ELECTROMAGNETIC FIELDS EXPOSURE ON FETAL AND CHILDHOOD ABNORMALITIES: SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS. https://doi.org/10.1515/med-2023-0697

Kojimaharaa, N., Leeb, Y.-H., Lee, A.-K., Bae, S. et al. (2023). IMPACT OF RADIOFREQUENCY EXPOSURE FROM MOBILE PHONES ON THE RISK OF DEVELOPING BRAIN TUMORS IN KOREAN AND JAPANESE ADOLESCENTS: A MOBI-KIDS CASE-CONTROL STUDY. *Journal of Epidemiology, online ahead of print.* https://doi.org/10.2188/jea.je20230005

Lim, H., Choi, J., Joo, H., Ha, M. (2023). EXPOSURES TO RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND THEIR IMPACT ON CHILDREN'S HEALTH. *Current Opinion in Environmental Science and Health, 32.* https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100456

Mansourian, M., Marateb, H., Nouri, R., Mansourian, M. (2023). EFFECTS OF MAN-MADE ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HEART RATE VARIABILITY PARAMETERS OF GENERAL PUBLIC: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS OF EXPERIMENTAL STUDIES. *Review of Environmental Health, ahead of publishing.* https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0191

Parizek, D., Visnovcova, N., Hamza, K. et al. (2023). ELECTROMAGNETIC FIELDS - DO THEY POSE A CARDIOVASCULAR RISK? *Physiological Research, 72,* 199-208. https://doi.org/10.33549/physiolres.934938

OVERZICHT VAN DE EXPERIMENTELE STUDIES EN REVIEWS BETREFFENDE DE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN RADIOFREQUENTIE STRALING DIE IN HET TWEEDE TRIMESTER VAN 2023 WERDEN GEPUBLICEERD.

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

1 REVIEWS

/

2 NEOPLASTISCHE ZIEKTEN

In vivo studies
/
In vitro studies
/
(Anti-)Genotoxiciteits studies
/

3 EFFECTEN OP HET ZENUWSTELSEL EN NEUROLOGISCHE AANDOENINGEN

In vivo studies

3.1 BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN BLOOTSTELLING AAN 2650 MHZ ELEKTROMAGNETISCHE STRALING OP HET GEDRAG, HET LEREN EN HET GEHEUGEN VAN MUIZEN.

Zheng R, Zhang X, Gao Y, et al.
[Biological effects of exposure to 2650 MHz electromagnetic radiation on the behavior, learning, and memory of mice.] Brain Behav. 2023;13(6):e3004. doi:10.1002/brb3.3004

Achtergrond: Met de ontwikkeling van communicatietechnologie besteedt het publiek steeds meer aandacht aan de vraag of elektromagnetische straling schadelijk is voor de gezondheid. Mobiele telefooncommunicatie is het 5G-tijdperk binnengetreden en er zijn bijna geen rapporten over elektromagnetische straling bij 2650 MHz. Daarom is het noodzakelijk om het risico op schadelijke effecten ten gevolge van blootstelling aan 5G mobiele telefoon EMV straling op het menselijk brein te evalueren.

Methoden: Mannelijke dieren werden gedurende 28 dagen continu blootgesteld aan 2650 MHz-EMV met een gemiddelde stralingswaarde voor het hele lichaam (Whole Body SAR) van 2,06 W/kg gedurende 4 uur per dag. Het gedrag van de muizen werd beoordeeld met behulp van de 'open field test' (OFT), het 'elevated-plus maze' (EPM) en de 'tail suspension test' (TST). Het Morris water doolhof (MWM), HE kleuring en TUNEL kleuring werden gebruikt om het ruimtelijk geheugen en de pathologische morfologie van hippocampale dentate gyrus cellen te evalueren. Daarnaast werden de expressieniveaus van de 'brain-derived neurotrophic factor (BDNF)', gamma-aminoboterzuur (GABA) en glucocorticoïde (GR) in de hippocampus gedetecteerd door middel van western blotting en immunohistochemie, terwijl het corticosterongehalte (CORT) in serum werd bepaald door middel van ELISA.

Resultaten: In de OFT namen de totale afgelegde afstand, de centraal afgelegde afstand en de verblijftijd significant af in de EMV-blootstellingsgroep ($p < .05$). In de EPM nam het percentage van het aantal keren dat de arm geopend moest worden en het percentage van de tijd dat de arm geopend moest worden significant af in de EMV-blootstellingsgroep. In de TST was er echter geen significant verschil tussen de twee groepen in de 4-min immobiliteitstijd. In de MWM was de ontsnappingslatentie van de EMV-blootstellingsgroep korter dan die van de controlegroep, zonder significant verschil. Verder waren de CORT-spiegels in serum significant verhoogd in de EMV-blootstellingsgroep ($p < .05$), terwijl de expressie van BDNF en GR-eiwitten in de hippocampus was verlaagd ($p < .05$), maar er was geen significant verschil in GABA-expressie.

Conclusies: De resultaten van de auteurs geven aan dat blootstelling aan 2650 MHz-EMV (stralingswaarde: 2,06 W/kg, 28 dagen, 4 uur per dag) geen significant effect had op het ruimtelijk geheugen van muizen. De blootstelling aan EMV is mogelijk geassocieerd met angst-achtig gedrag bij muizen, maar niet met depressie-achtig gedrag bij muizen.

3.2 EFFECTEN VAN ELEKTROMAGNETISCHE STRALING VAN MOBIELE TELEFOONS OP DE SCHILDKLIER EN HORMONEN IN DE HERSENEN VAN RATTUS NORVEGICUS: EEN ANALYSE VAN SCHILDKLIERFUNCTIE, REACTIEVE ZUURSTOFSPECIES EN MONOCARBOXYLAAT TRANSPORTER 8

Zufry H, Rudijanto A, Soeatmadji DW, et al.
[Effects of mobile phone electromagnetic radiation on thyroid glands and hormones in Rattus norvegicus brain: An analysis of thyroid function, reactive oxygen species, and monocarboxylate transporter 8.] J Adv Pharm Technol Res. 2023;14(2):63-68. doi:10.4103/japtr.japtr_680_22

Het **doel** van deze studie was het onderzoeken van de effecten van elektromagnetische velden van mobiele telefoons (MP-EMV) op de schildklier en de hormonen in de hersenen van Rattus norvegicus

in termen van schildklierfunctie, reactieve zuurstofspecies (ROS) en monocarboxylaattransporter 8 (MCT8) concentratie. Veertig ratten werden verdeeld in verschillende groepen: controle (zonder blootstelling aan EMV), EMV1 (120-min/dag blootstelling), EMV2 (150-min) en EMV3 (180-min).

De niveaus van serum thyroïd stimulerend hormoon (TSH), thyroxine (T4) en malondialdehyde (MDA) in de hersenen en MCT8 werden gemeten met behulp van enzyme-linked immunosorbent assay. Er werd een eenzijdige variantieanalyse gevolgd door de Duncan-test gebruikt om de gegevens te analyseren. De gegevens van de auteurs gaven aan dat de niveaus van serum TSH en T4 in alle EMV-groepen significant lager waren na blootstelling vergeleken met de controle met $P < 0,01$ (EMV1 en EMV2) en $P < 0,001$ (EMV3), wat wijst op hypothyreoïdie als gevolg van blootstelling aan MP-EMV. Verhoogde MDA- en verlaagde MCT8-niveaus werden ook waargenomen na de interventie; de veranderingen in beide concentraties waren echter significant na blootstelling aan 150 en 180 minuten. De auteurs concluderen op basis van hun bevindingen dat een significante afname van TSH, T4 en MCT8 niveaus mogelijk duidt op schildklierdysfunctie als gevolg van blootstelling aan MP-EMV.

3.3 EFFECTEN VAN NIET-THERMISCHE RADIOFREQUENTIESTIMULATIE OP NEURONALE ACTIVITEIT EN HET NEURAAL CIRCUIT BIJ MUIZEN

Hao Y, Liu W, Liu Y, et al.
[Effects of Nonthermal Radiofrequency Stimulation on Neuronal Activity and Neural Circuit in Mice.]
Adv Sci (Weinh). 2023;10(11):e2205988. doi:10.1002/advs.202205988

Het is onbekend of er niet-thermische effecten van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) bestaan en hoe niet-thermische RF-EMV inwerkt op het zenuwstelsel. Door muizen bloot te stellen aan 2856-MHz RF-EMV in het bereik van thermische ruis (≤1 °C) wordt een diermodel van ruimtelijke geheugenstoornis opgesteld. Het vrijkomen van glutamaat in de dorsale hippocampus (dHPC) CA1 regio was niet significant veranderd na blootstelling aan radiofrequentie, terwijl het vrijkomen van dopamine was verminderd. Belangrijk is dat RF-EMV de glutamaat-gestuurde CA1 piramidale neuron calciumactiviteit verhoogde door niet-thermische mechanismen, die zich herstelden tot het basale niveau na beëindiging van RF-EMV blootstelling. Verder was de onderdrukte dopamine-afgifte van dHPC, geïnduceerd door blootstelling aan radiofrequentie, te wijten aan een verminderde dichtheid van dopaminerge projecties van de locus coeruleus naar dHPC, en kunstmatige activering van dopamine axon terminals of D1 receptoren in dHPC CA1 verbeterde de geheugenbeschadiging bij muizen blootgesteld aan RFR. Deze bevindingen geven volgens de onderzoekers aan dat niet-thermische radiofrequente stimulatie de lopende neuronale activiteit moduleert en de functie van het zenuwstelsel beïnvloedt op het niveau van het neurale circuit.

In vitro studies

/

4 REPRODUCTIEVE EN ONTWIKKELINGSEFFECTEN

In vivo studies

4.1 TERATOGENE EFFECTEN VAN RADIOFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE STRALING OP DE EMBRYONALE ONTWIKKELING VAN KUIKENS: EEN STUDIE NAAR MORFOLOGIE EN UITBROEDBAARHEID.

Augustianath T, Evans DA, Anisha GS.
[Teratogenic effects of radiofrequency electromagnetic radiation on the embryonic development of chick: A study on morphology and hatchability.] Res Vet Sci. 2023;159:93-100. doi:10.1016/j.rvsc.2023.04.015

De huidige studie was gericht op het bestuderen van de effecten van RF-EMV in het induceren van teratogene veranderingen in de embryonale ontwikkeling van organismen met behulp van het kuikenembryo als model. De bevruchte eieren van de kip werden geïncubeerd in een digitale bevochtigde incubator en blootgesteld aan RF-EMV van 2G en 4G mobiele telefoons door met regelmatige tussenpozen te bellen. De dosis RF-EMV werd gevarieerd door de gespreksduur en het aantal gesprekken per dag te verhogen, met als laagste dosis een gespreksduur van 50 min/dag en als hoogste dosis 90 min/dag. De gebruikte telefoon had een radiofrequentiebereik tussen 900 en 1800 MHz en een stralingswaarde van respectievelijk 1,355 (2G) en 1,12 (4G) watt/kg. De partij eieren die werd geïncubeerd zonder enige blootstelling aan RF-EMV werd genomen als controle. Het aantal eieren die uitkomen in de 2G en 4G experimentele groepen was respectievelijk 65% en 75% bij lagere veldblootstelling en 40% en 55% bij hogere veldblootstelling. De teratogene effecten van RF-EMV op de morfologie van kuikenembryo's manifesteerden zich onder de vorm van een gekruiste snavel, niet-ingetrokken dooierzak, macrocefalie, misvormde poten en tenen, ongemak bij het opstaan en in evenwicht houden van het lichaam en variaties in lichaamsgewicht, lichaamslengte en snavellengte. De resultaten geven aan dat RF-EMV een potentiële bedreiging vormt voor de zich ontwikkelende stadia van organismen.

4.2 PRE- EN POSTNATALE BLOOTSTELLING AAN 900 MHZ ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN INDUCEREN INFLAMMATIE EN OXIDATIEVE STRESS, EN VERANDEREN DE COMPONENTEN VAN HET RENINE-ANGIOTENSINESYSTEEM IN MANNELIJKE EN VROUWELIJKE NAKOMELINGEN OP EEN VERSCHILLENDE MANIER.

Kilic A, Ustunova S, Bulut H, Meral I. [Pre and postnatal exposure to 900 MHz electromagnetic fields induce inflammation and oxidative stress, and alter renin-angiotensin system components differently in male and female offsprings.] Life Sci. 2023;321:121627. doi:10.1016/j.lfs.2023.121627

Doelstellingen: Deze studie werd ontworpen om de impact op inflammatie en oxidatieve stress en op de componenten van het renine-angiotensinesysteem te onderzoeken in het hersen- en nierweefsel van vrouwelijke en mannelijke ratten die prenataal en/of postnataal werden blootgesteld aan 900 MHz elektromagnetische velden (EMV). Het doel was om de biologische effecten te evalueren van 900 MHz EMV blootstelling als gevolg van de toename in het gebruik van mobiele telefoons en in het bijzonder het meer wijdverspreide gebruik van het GSM 900 systeem.

Belangrijkste **methoden**: Mannelijke en vrouwelijke Wistar albino nakomelingen werden verdeeld in vier groepen: controle, prenataal, postnataal en prenataal+postnataal blootgesteld aan 900 MHz EMV gedurende 1 uur/dag (23 dagen tijdens de zwangerschap voor de prenatale periode, 40 dagen voor de postnatale periode). De hersen- en nierweefsels werden verzameld bij het bereiken van de puberteit.

Belangrijkste **bevindingen**: Er werd een stijging in de totale oxidant status, IL-2, IL-6, en TNF-α niveaus stegen ($p < 0,001$) en een daling van de totale antioxidant status ($p < 0,001$) waargenomen in alle drie de EMV groepen in vergelijking met controles in zowel mannelijke als vrouwelijke hersen- en nierweefsels. De renine-angiotensine systeemcomponenten zoals angiotensinogeen, renine, angiotensine type 1 en type 2 receptoren, en MAS1-achtige G eiwitgekoppelde receptor expressie waren hoger ($p < 0,001$) in alle drie de EMV blootstellingsgroepen vergeleken met controles in zowel mannelijke als vrouwelijke hersen- en nierweefsels. Hoewel er enkele verschillen waren in de niveaus van pro-inflammatoire markers, ROS-componenten en RAS-componenten in hersen- en nierweefsel tussen mannen en vrouwen, was het gemeenschappelijke resultaat van alle groepen een toename in oxidatieve stress, ontstekingsmarkers en angiotensinesysteemcomponenten bij blootstelling aan 900 MHz EMV.

Conclusie: De auteurs concluderen dat de 900 MHz EMV het renine-angiotensinesysteem in de hersenen en nieren kan activeren, en dat deze activering misschien gerelateerd is aan ontsteking en oxidatieve stress in zowel mannelijke als vrouwelijke nakomelingen.

4.3 MYRTENAL VERBETERT GEHEUGENTEKORTEN BIJ MUIZEN DIE ZIJN BLOOTGESTELD AAN RADIOFREQUENTIE-ELEKTROMAGNETISCHE STRALING TIJDENS DE DRACHT EN DE NEONATALE ONTWIKKELING VIA VERBETERING VAN DE OXIDO-INFLAMMATOIRE EN NEUROTRANSMITTERFUNCTIES

Akefe IO, Nyan ES, Adegoke VA, et al. [Myrtenal improves memory deficits in mice exposed to radiofrequency-electromagnetic radiation during gestational and neonatal development via enhancing oxido-inflammatory, and neurotransmitter functions.] Heliyon. 2023;9(4):e15321. Gepubliceerd 2023 apr 8. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15321

Doelstelling: Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) tijdens de zwangerschaps- en neonatale ontwikkeling kan een wisselwerking aangaan met de foetus en het pasgeboren kind die als overgevoelig voor RF-EMV worden beschouwd, wat kan leiden tot ontwikkelingsstoornissen die geassocieerd worden met neuropsychologische en gedragsstoornissen, waaronder leer- en geheugenstoornissen. Deze studie beoordeelde het

potentieel van Myrtenal (Myrt) om geheugenstoornissen te verbeteren bij C57BL/6 muizen die werden blootgesteld aan RF-EMV tijdens de zwangerschaps- en neonatale ontwikkeling.

Methode: Vijfendertig mannelijke muizen werden willekeurig verdeeld in 5 cohorten, elk bestaande uit 7 muizen. Groep I kreeg vehicle toegediend, Groep II: RF-EMV (900 MHz); Groep III: RF-EMV (900 MHz) + 100 mg/kg Myrt; Groep IV: RF-EMV (900 MHz) + 200 mg/kg Myrt; en Groep V: RF-EMV (900 MHz) + donepezil 0,5 mg/kg.

Resultaten: Myrt behandeling verbeterde de korte-termijn geheugenprestaties in RF-EMV (900 MHz)-blootgestelde muizen door het verhogen van de activiteiten van endogene antioxidant enzymen en pro-inflammatoire cytokines, waardoor de hersenen beschermd werden tegen oxido-inflammatoire stress. Bovendien herstelde Myrt de homeostase van neurotransmitters in aan RF-EMV blootgestelde dieren.

Conclusie: De resultaten van de huidige studie tonen aan dat blootstelling aan RF-EMV het kortetermijngeheugen bij dieren aantastte en de respons van markers van oxido-inflammatoire stress en neurotransmitters veranderde. De auteurs suggereren daarom met Myrt verrijkt fruit aan te bevelen voor foetussen en pasgeborenen die blootgesteld werden aan RF-EMV.

In vitro studies

/

5 ANDERE EFFECTEN

In vivo studies

5.1 DOSIS- EN TIJDSAFHANKELIJKE EFFECTEN VAN RADIOFREQUENT ELEKTROMAGNETISCH VELD OP VETWEEFSEL: IMPLICATIES VAN THERMOREGULATIE EN MITOCHONDRIALE SIGNALISERING

Maalouf J, Pelletier A, Corona A, et al. [Dose- and Time-Dependent Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field on Adipose Tissue: Implications of Thermoregulation and Mitochondrial Signaling.] Int J Mol Sci. 2023;24(13):10628. Gepubliceerd 2023 jun 25. doi:10.3390/ijms241310628

Recente studies hebben indicaties gegeven over mogelijke effecten van radiofrequente (RF) velden met lage intensiteit op de thermoregulatie en het vetweefselmetabolisme. De huidige studie heeft tot doel deze effecten verder te onderzoeken door de expressie van thermoregulerende genen te analyseren en de betrokkenheid van mitochondriën bij het vetweefselmetabolisme te onderzoeken. Mannelijke muizen (n = 36 C57BL/6J) werden ingedeeld in blootgestelde of controlegroepen. De blootgestelde groepen werden gedurende drie of zeven opeenvolgende dagen blootgesteld aan RF-velden bij 900 MHz, met een stralingswaarde van 0,1 W/kg of 0,4 W/kg. De resultaten tonen volgens de auteurs aan dat blootstelling aan RF leidt tot veranderingen in vetweefselmarkers, waarbij

sommige effecten dosis- en tijdsafhankelijk zijn. In bruin vetweefsel (BBT) werd na 3 dagen blootstelling aan RF een verminderde thermogenese waargenomen, een afname van de mitochondriale activiteit in BBT en een toename in genexpressie, verantwoordelijk voor het in evenwicht houden van de regulerende en schadelijke effecten van reactieve zuurstofverbindingen (ROS). Dit effect werd gedeeltelijk gecompenseerd na 7 dagen blootstelling. In het witte vetweefsel (WAT) resulteert blootstelling aan RF in verminderde vetzuuroxidatie, verminderde energieproductie en verstoorde adipocytendifferentiatie. Er werden geen effecten van RF op de mitochondriale biogenese in WAT waargenomen. Deze bevindingen dragen bij aan een beter begrip van de effecten van blootstelling aan RF op het metabolisme en de thermoregulatie van vetweefsel en benadrukken dosis- en tijdsafhankelijke reacties.

In vitro studies

5.2 NIET-THERMISCHE VERSTORING VAN B-ADRENERGE RECEPTOR-GEACTIVEERDE CA2+ SIGNALERING EN APOPTOSE IN MENSELIJKE ES-AFGELEIDE CARDIOMYOCYTEN DOOR ELEKTRISCHE MICROGOLFVELDEN OP 2,4 GHZ.

Williams CF, Hather C, Conteh JS, et al.
[Niet-thermische verstoring van β-adrenerge receptor-geactiveerde Ca2+ signalering en apoptose in menselijke es-afgeleide cardiomyocyten door elektrische microgolfvelden op 2,4 GHz] Biochem Biophys Res Commun. 2023;661:89-98. doi:10.1016/j.bbrc.2023.04.038

Door de alomtegenwoordigheid van draadloze verbindingen tussen elektronische apparaten zijn microgolven een van de snelst groeiende vormen van elektromagnetische blootstelling geworden. Er is volgens de auteurs steeds meer bewijs dat de hypothese weerlegt dat draadloze technologieën geen risico vormen voor de menselijke gezondheid bij de huidige veiligheidsniveaus die zijn ontworpen om thermische (verhittings)effecten te beperken. De potentiële impact van niet-thermische effecten van blootstelling aan microgolven, vooral in elektrisch-exciteerbare weefsels (bijv. hart), blijft controversieel. De auteurs stelden menselijke embryonale stamcellen afgeleide cardiomyocyten (CM) bloot aan microgolven op 2,4 GHz, een frequentie die veel gebruikt wordt in draadloze communicatie (bijv. 4G, Bluetooth™ en WiFi), onder baseline en bèta-adrenerge receptor (β-AR)-gestimuleerde omstandigheden. Om te controleren op er eventueel eenwarmte-geïnduceerd effect was, werden experimenten uitgevoerd in CM onderworpen aan gelijke hoeveelheden van directe verwarming of CM bewaard bij 37 °C. Gedetailleerde profilering van de temporele en amplitude kenmerken van Ca2+ signalering in CM onder deze experimentele omstandigheden werd gekoppeld aan de omvang en ruimtelijke clustering van apoptose. De gegevens tonen aan dat blootstelling van CM aan 2,4 GHz EMV de normale Ca2+ signaleringsrespons op β-AR stimulatie elimineerde en ruimtelijk geclusterde apoptose uitlokte. Dit is volgens de auteurs het eerste bewijs dat niet-thermische effecten van 2,4 GHz microgolven diepgaande effecten kunnen hebben op de functie van het menselijk hart, de respons op activering en de overleving.

5.3 EVALUATIE VAN DNA-METHYLERINGSPROFIELEN VAN LINE-1, ALU EN RIBOSOMALE DNA REPEATS IN MENSELIJKE CELLIJNEN DIE ZIJN BLOOTGESTELD AAN RADIOFREQUENTE STRALING

Ravaioli F, Bacalini MG, Giuliani C, et al. [Evaluation of DNA Methylation Profiles of LINE-1, Alu and Ribosomal DNA Repeats in Human Cell Lines Exposed to Radiofrequency Radiation.] Int J Mol Sci. 2023;24(11):9380. Gepubliceerd op 2023 mei 27. doi:10.3390/ijms24119380

Er zijn veel aanwijzingen dat milieu-invloeden veranderingen in DNA-methyleringsprofielen (DNAm) kunnen veroorzaken. Radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV's) zijn straling uitgezonden door alledaagse apparaten, die geclassificeerd zijn als "mogelijk kankerverwekkend"; hun biologische effecten zijn echter onduidelijk. Omdat afwijkend DNAm van genomische repetitieve elementen (RE's) genomische instabiliteit kan bevorderen, probeerden de auteurs hier te bepalen of blootstelling aan RF-EMV's het DNAm van verschillende klassen van RE's kan beïnvloeden, zoals long interspersed nuclear elements-1 (LINE-1), Alu short interspersed nuclear elements en ribosomale herhalingen. Met dit doel analyseerden de auteurs DNAm-profielen van baarmoederhalskanker en neuroblastoom cellijnen (HeLa, BE(2)C en SH-SY5Y) blootgesteld aan 900 MHz GSM-gemoduleerde RF-EMV door middel van een Illumina-gebaseerde gerichte diepe bisulfiet sequencing aanpak. De bevindingen tonen volgens de auteurs aan dat blootstelling aan radiofrequentie het DNAm van Alu-elementen in geen van de geanalyseerde cellijnen beïnvloedde. Daarentegen beïnvloedde het wel het DNAm van LINE-1 en ribosomale repeats zowel op het gebied van het profiel als de organisatie van gemethyleerde en ongemethyleerde CpG-plaatsen. De effecten varieerden in elk van de drie onderzochte cellijnen.

5.4 EFFECTEN VAN 5G-GEMODULEERDE 3,5 GHZ RADIOFREQUENTE VELDBLOOTSTELLING OP HSF1, RAS, ERK EN PML ACTIVERING IN LEVENDE FIBROBLASTEN EN KERATINOCYTEN CELLEN

Joushomme A, Orlacchio R, Patrignoni L, et al. [Effects of 5G-modulated 3.5 GHz radiofrequency field exposures on HSF1, RAS, ERK, and PML activation in live fibroblasts and keratinocytes cells.] Sci Rep. 2023;13(1):8305. Gepubliceerd op 2023 mei 23. doi:10.1038/s41598-023-35397-w

De potentiële gezondheidsrisico's van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden van mobiele communicatietechnologieën hebben geleid tot maatschappelijke bezorgdheid. Er zijn richtlijnen opgesteld om de bevolking te beschermen (bijv. niet-specifieke verwarming boven 1 °C bij blootstelling aan radiofrequente velden), maar er blijven vragen bestaan over de mogelijke biologische effecten van niet-thermische blootstelling. Met de komst van de vijfde generatie (5G) van mobiele communicatie is het evalueren van het feit of blootstelling aan dit nieuwe signaal een cellulaire stressrespons induceert één van de verplichte stappen op de routekaart voor een veilige uitrol en evaluatie van gezondheidsrisico's. Met behulp van de BRET-techniek (Bioluminescence Resonance Energy-Transfer) beoordeelden de auteurs of continue of intermitterende (5 min AAN / 10 min UIT) blootstelling van levende menselijke keratinocyten en fibroblasten aan 5G 3,5 GHz signalen met een stralingswaarde tot 4 W/kg gedurende 24 uur een invloed had op de basale of chemisch geïnduceerde activiteit van Heat Shock Factor (HSF), RAt Sarcoma virus (RAS) en Extracellular signal-Regulated Kinases (ERK) kinases, en Promyelocytic Leukemia Protein (PML), allemaal moleculaire routes die betrokken zijn bij de cel-stressresponsen in de omgeving. De

belangrijkste resultaten zijn (i) een afname van het HSF1 basale BRET signaal wanneer fibroblastcellen werden blootgesteld bij de lagere geteste stralingswaarden (0,25 en 1 W/kg), maar niet bij de hoogste stralingswaarde (4 W/kg), en (ii) een lichte afname van de maximale effectiviteit van As2O3 om PML SUMOylering te triggeren wanneer fibroblastcellen, maar geen keratinocyten, continu werden blootgesteld aan het 5G RF-EMV signaal. Desondanks concludeerden de auteurs, gezien de inconsistentie van deze effecten mbt celtype, effectieve stralingswaarde, blootstellingsmodus en moleculaire celstressrespons, dat hun studie geen overtuigend bewijs levert dat moleculaire effecten kunnen optreden wanneer huidcellen alleen of samen met een chemische stressor worden blootgesteld aan de 5G RF-EMV.

6 GENERAL COMMENTS

Dit verslag bestaat uit 10 experimentele studies naar de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden. Voor twee studies (Augustianath et al., Kilic et al.) konden de volledige artikels niet worden teruggevonden. Deze werden niet beoordeeld op kwaliteit, maar werden voor de volledigheid opgenomen in het rapport.

De meeste experimentele studies die in dit rapport worden besproken, hadden beperkingen in hun experimentele opzet. Sommige studies omvatten geen of slechte dosimetrieberekeningen (Zufry et al., Akefe et al.) of gebruikten blootstellingssystemen die niet geschikt waren voor het type experiment dat werd uitgevoerd (Akefe et al.). In sommige gevallen werd er niet genoeg informatie gegeven om de geschiktheid van het blootstellingsysteem te bepalen (Zufry et al.) of werden blootstellingscondities gehanteerd die niet representatief zijn voor de blootstelling die mensen dagelijks zouden ervaren (Hao et al., Williams et al.). Voor sommige onderzoeken was het onduidelijk of de juiste shamcondities werden gebruikt (Hao et al., Williams et al.). In de meeste studies werden ook geen goede geblindeerde testcondities gebruikt (Zheng et al., Zufry et al., Hao et al., Akefe et al., Williams et al., Joushomme et al.). Bovendien gebruikten sommige onderzoeken ongemoduleerde, continue golven (Joushomme et al.), of waren ze onduidelijk over de signaalmodulatie (Hao et al., Williams et al.). In een beperkt aantal studies werden wel correct gemoduleerde signalen gebruikt die representatief waren voor blootstelling aan RF-EMV gebruikt in telecommunicatie.

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 sommige experimenten (Zufry et al., Akefe et al., Maalouf et al., Ravailoli et al., Joushomme et al.) niet gecontroleerd, waardoor geen rekening kon worden gehouden met mogelijke warmte-geïnduceerde effecten ten gevolge van RF-EMV blootstelling. Andere experimenten, zoals die van Williams et al., gebruikten een zeer gecompliceerd systeem voor temperatuurregeling om verhitting van het staal door het gebruik van RF-blootstelling met een zeer hoge intensiteit te voorkomen. Bij de meeste onderzoeken werd de kamertemperatuur gecontroleerd.

Een studie waarbij de meeste kwaliteitscriteria in rekening werden gebracht was die van Maalouf et al. Ondanks het feit dat de wetenschappers geen temperatuurmetingen deden tijdens het experiment, hadden ze ervoorzorgen genomen om te verzekeren dat hun dosimetrie zou resulteren in niet-thermische blootstelling. Maalouf et al. onderzochten het resultaat van RF-EMV-blootstelling op verschillende soorten vetweefsel. Ze concludeerden dat blootstelling aan RF-EMV een complexe

rol zou kunnen spelen in het bruin worden van vetweefsel, maar gaven ook aan dat verder onderzoek nodig is om het mechanisme achter deze waarneming te achterhalen.
Een ander onderzoek dat rekening hield met de meeste kwaliteitscriteria was het onderzoek van Ravaioli et al. Ondanks het feit dat er geen temperatuurcontrole was tijdens het experiment, zou de dosimetrie van het veld (1W/kg) onder het niveau moeten liggen waarbij temperatuurveranderingen optreden. De experimentele design had echter kunnen worden verbeterd door ook tijdens het experiment de temperatuur te meten om niet-thermische omstandigheden te garanderen. De auteurs concludeerden dat blootstelling aan RF-EMV het DNA-methyleringsprofiel van LINE-1 en ribosomale repeats kan beïnvloeden, maar dat dit op verschillende manieren gebeurt in verschillende celtypen, waarbij het effect vaak beperkt blijft tot één van de bestudeerde celtypen. Er is meer onderzoek nodig om het mechanisme van de methylering en de effecten die de methylering zou kunnen hebben op moleculaire mechanismen zoals transcriptie te bepalen en om na te gaan of dit slechts een tijdelijke of een onomkeerbare verandering is.

Het blijft moeilijk om de resultaten van experimentele studies rechtstreeks te koppelen aan de gezondheidsresultaten 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 gerepliceerd worden om de kwaliteit van de resultaten te garanderen.

In de nabije toekomst zullen de systematische reviews met meta-analyses naar de mogelijk link tussen RF en verschillende gezondheidseffecten die werden uitgevoerd in opdracht van de WHO worden gepubliceerd. Deze reviews zullen rekening houden met alle onderzoeken die betrekking hebben op kanker, nadelige gevolgen voor de voortplanting, cognitieve stoornissen, aspecifieke symptomen, oxidatieve stress en hitte-gerelateerde ziekten. Dit moet ons meer inzicht geven in welke onderwerpen verder onderzoek vereisen.

Op basis van de resultaten van de in dit rapport gepresenteerde studies zijn er geen voldoende aanwijzingen voor biologische nadelige effecten of gezondheidseffecten van RF. Het blijftbelangrijk om de methodologische kwaliteit van experimentele studies in overweging te nemen alvorens conclusies te trekken over gezondheidseffecten.

REFERENTIES

Zheng R, Zhang X, Gao Y, et al.
[Biological effects of exposure to 2650 MHz electromagnetic radiation on the behavior, learning, and memory of mice.] Brain Behav. 2023;13(6):e3004. doi:10.1002/brb3.3004

Zufry H, Rudijanto A, Soeatmadji DW, et al.
[Effects of mobile phone electromagnetic radiation on thyroid glands and hormones in Rattus norvegicus brain: An analysis of thyroid function, reactive oxygen species, and monocarboxylate transporter 8.] J Adv Pharm Technol Res. 2023;14(2):63-68. doi:10.4103/japtr.japtr_680_22

Hao Y, Liu W, Liu Y, et al.
[Effects of Nonthermal Radiofrequency Stimulation on Neuronal Activity and Neural Circuit in Mice.] Adv Sci (Weinh). 2023;10(11):e2205988. doi:10.1002/advs.202205988

Augustianath T, Evans DA, Anisha GS.
[Teratogenic effects of radiofrequency electromagnetic radiation on the embryonic development of chick: A study on morphology and hatchability.] Res Vet Sci. 2023;159:93-100. doi:10.1016/j.rvsc.2023.04.015

Kilic A, Ustunova S, Bulut H, Meral I. [Pre and postnatal exposure to 900 MHz electromagnetic fields induce inflammation and oxidative stress, and alter renin-angiotensin system components differently in male and female offsprings.] Life Sci. 2023;321:121627. doi:10.1016/j.lfs.2023.121627

Akefe IO, Nyan ES, Adegoke VA, et al. [Myrtenal improves memory deficits in mice exposed to radiofrequency-electromagnetic radiation during gestational and neonatal development via enhancing oxido-inflammatory, and neurotransmitter functions.] Heliyon. 2023;9(4):e15321. Gepubliceerd 2023 apr 8. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15321

Maalouf J, Pelletier A, Corona A, et al. [Dose- and Time-Dependent Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field on Adipose Tissue: Implications of Thermoregulation and Mitochondrial Signaling.] Int J Mol Sci. 2023;24(13):10628. Gepubliceerd 2023 jun 25. doi:10.3390/ijms241310628

Williams CF, Hather C, Conteh JS, et al.
[Niet-thermische verstoring van β-adrenerge receptor-geactiveerde Ca2+ signalering en apoptose in menselijke es-afgeleide cardiomyocyten door elektrische microgolfvelden op 2,4 GHz] Biochem Biophys Res Commun. 2023;661:89-98. doi:10.1016/j.bbrc.2023.04.038

Ravaioli F, Bacalini MG, Giuliani C, et al. [Evaluation of DNA Methylation Profiles of LINE-1, Alu and Ribosomal DNA Repeats in Human Cell Lines Exposed to Radiofrequency Radiation.] Int J Mol Sci. 2023;24(11):9380. Gepubliceerd op 2023 mei 27. doi:10.3390/ijms24119380

Joushomme A, Orlacchio R, Patrignoni L, et al. [Effects of 5G-modulated 3.5 GHz radiofrequency field exposures on HSF1, RAS, ERK, and PML activation in live fibroblasts and keratinocytes cells.] Sci Rep. 2023;13(1):8305. Gepubliceerd op 2023 mei 23. doi:10.1038/s41598-023-35397-w