Vlaanderen
is kwaliteitsvolle
omgeving

Overzicht van studies over de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling die in 2025 werden gepubliceerd

DEPARTEMENT
OMGEVING

vlaanderen.be/omgeving

Overzicht van studies over de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling die in 2025 werden gepubliceerd

Het Departement Omgeving volgt de meest recente wetenschappelijke onderzoeken op om snel te kunnen inspelen op de resultaten. Het opvolgen en evalueren van nieuw onderzoek gebeurt door experten van Sciensano, IMEC en de Universiteit Gent. Een overzicht van de resultaten van nieuw onderzoek staat 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 externe auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys, secretaris-generaal
Departement Omgeving
Koning Albert-II laan 15 bus 553, 1210 Brussel (postadres)
vlaanderen.be/omgeving

Een uitgave van het Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving

Team Omgeving en Gezondheid, Departement Omgeving

Océane Bobin - Risk and Health impact assessment (Sciensano)
Seppe Segers – Risk and Health impact assessment (Sciensano)
Maryse Ledent – Risk and Health impact assessment (Sciensano)
Dr. Birgit Mertens – Risk and Health impact assessment (Sciensano)
Eva De Clercq – Risk and Health Impact Assessment (Sciensano)
Dr. Els De Waegeneer – Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnsgeneeskunde (Universiteit Gent)
Leander De Mol – Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg (Universiteit Gent)

Publicatiedatum
2025

INTRODUCTIE

Er wordt veel onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke gezondheidseffecten van elektromagnetische velden van draadloze communicatie. Regelmatig worden (o.a. via de media) berichten verspreid over de gezondheidseffecten van gsm- en andere bronnen van niet-ioniserende straling. Anderzijds stellen verschillende (wetenschappelijke) instellingen, zoals de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) en de Internationale Commissie voor de Bescherming tegen Niet-ioniserende Straling (ICNIRP), dat op basis van de bestaande studies niet kan besloten worden dat gsm-straling schadelijk is. Expertgroepen geven wel aan dat er nog een aantal onzekerheden zijn zoals de langetermijneffecten (>10 jaar blootstelling). Opvolgen van nieuw onderzoek naar gezondheidseffecten is daarom noodzakelijk om de normering te evalueren en indien nodig bij te sturen.

Elk trimester wordt een overzicht gegeven van nieuw onderzoek of studies. Dit overzicht bespreekt de nieuwe studies van het jaar 2025. De studies besproken in dit overzicht geven geen aanleiding tot een andere visie op mogelijke gezondheidseffecten rond straling in relatie met de omgevingsregelgeving.

INHOUDSTAFEL

1 Eerste trimester 5
1.1 EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMAAN-EXPERIMENTELE STUDIES 5
1.1.1 Reviews 5
1.1.2 Neoplastische ziekten 8
1.1.3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen 8
1.1.4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten 9
1.1.5 Andere effecten 10
1.1.6 Algemene conclusies van dit trimester 13
1.2 EPIDEMIOLOGISCHE STUDIES 15
1.2.1 Reviews en meta-analyses 15
1.2.2 Gebruik van mobiele telefoons 21
1.2.3 Residentiële blootstelling 22
1.2.4 Experimenteel onderzoek bij mensen 25
1.2.5 Algemene conclusie van dit kwartaal 25
Referenties 25
2 Tweede trimester 26
2.1 EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMAAN-EXPERIMENTELE STUDIES 26
2.1.1 Reviews 26
2.1.2 Neoplastische ziekten 30
2.1.3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen 30
2.1.4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten 31
2.1.5 Andere effecten 32
2.1.6 Algemene conclusies van dit trimester 34
2.2 EPIDEMIOLOGISCHE STUDIES 36
2.2.1 Reviews en meta-analyses 36
2.2.2 Gebruik van mobiele telefoons 40
2.2.3 Residentiële blootstelling 42
2.2.4 Experimenteel onderzoek bij mensen 43
2.2.5 Algemene conclusie 46
Referenties 47

1 EERSTE TRIMESTER

1.1 EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMAAN-EXPERIMENTELE STUDIES

1.1.1 Reviews

Radiofrequente straling en de ziekte van Alzheimer: schadelijke en therapeutische implicaties [Radiofrequency radiation and Alzheimer's disease: harmful and therapeutic implications.]
Bektas H, Dasdag S. Int J Radiat Biol. 2025 Mar 25:1-13.
https://doi.org/10.1080/09553002.2025.2481854

De ziekte van Alzheimer (AD) is een neurodegeneratieve aandoening die wordt gekenmerkt door geheugenverlies en cognitieve achteruitgang. Het verband tussen AD en radiofrequente straling afkomstig van draadloze toestellen wordt nog onderzocht. Het doel van deze review is om de bestaande literatuur over de effecten van RF-straling op Alzheimer te onderzoeken en te evalueren.
De auteurs doorzochten Web of Science, Scopus en Pubmed om relevante studies over AD en RF straling op te sporen. Deze review evalueert in totaal 81 studies, waaronder studies gebruik makend van diermodellen, studies bij mensen en in vitro experimenten. De resultaten werden samengevat in tabellen voor de duidelijkheid. Sommige onderzoeken suggereren dat RF straling Alzheimer verergert door oxidatieve stress te verhogen, de integriteit van de bloed-hersenbarrière aan te tasten en amyloïde-bèta-afzetting te bevorderen. Andere studies tonen juist beschermende effecten, zoals verbeterde mitochondriale functies in de hersenen en verminderde amyloïd-bèta-niveaus. Het begrijpen van de relatie tussen RF-blootstelling en AD, inclusief parameters zoals frequentie en duur van de blootstelling, is cruciaal voor therapeutische strategieën. De studies benadrukken het dubbele effect van RF-straling op AD en onderlijnen de noodzaak van een gedetailleerde aanpak. Verdere studies zijn nodig om deze effecten te verduidelijken en preventieve en therapeutische maatregelen te ondersteunen.

Het effect van radiofrequente straling op reproductieve gezondheid bij mannen en mogelijke werkingsmechanismen [The effects of radiofrequency radiation on male reproductive health and potential mechanisms.]
Bektas H, Dasdag S. Electromagn Biol Med. 2025 Mar 19:1-26.
https://doi.org/10.1080/15368378.2025.2480664

Recente studies hebben aangetoond dat radiofrequente (RF) straling, afkomstig van bijvoorbeeld mobiele telefoons en WiFi toestellen, nadelige effecten kan hebben op de reproductieve gezondheid bij mannen. RF straling kan de temperatuur van de testikels verhogen, waardoor de kwaliteit van het sperma en de integriteit van het DNA in gevaar kunnen komen, evenals de specifieke absorptiesnelheid (SAR) in verschillende lichaamsregio's beïnvloeden, wat leidt tot nadelige reproductieve resultaten. Bovendien werd blootstelling aan RF-straling in verband gebracht met aandoeningen die de mannelijke voortplantingsfunctie negatief beïnvloeden, zoals oxidatieve stress, veranderingen in ionentransport over celmembranen en ontstekingen. Het artikel analyseert onderzoek dat is uitgevoerd zowel bij mensen als op basis van diermodellen met betrekking tot de effecten van elektromagnetische straling op de kwaliteit van sperma, DNA-schade, oxidatieve stress, hormoonspiegels en testiculaire functie, en suggereert dat blootstelling aan elektromagnetische straling schadelijke gevolgen kan hebben voor de reproductieve gezondheid bij mannen. Er is echter

verder onderzoek nodig om de mechanismen en implicaties van niet-ioniserende elektromagnetische straling op mannelijke onvruchtbaarheid volledig te begrijpen.

Een overzicht van de effecten van elektromagnetische velden op veroudering en verouderingsafhankelijke bio-effecten van elektromagnetische velden [A review of effects of electromagnetic fields on ageing and ageing dependent bioeffects of electromagnetic fields.]

Wei X, Huang Y, Sun C. Sci Total Environ. 2025 Feb 1;963:178491.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178491

Dankzij de vooruitgang in wetenschap en technologie is de levensverwachting van de mens de afgelopen decennia aanzienlijk gestegen. Tegelijkertijd leidt dit tot een snelle vergrijzing van de bevolking, wat een toenemende maatschappelijke last met zich meebrengt. Ook de leefomgeving, en in het bijzonder de elektromagnetische omgeving, is sterk veranderd door technologische ontwikkelingen. De effecten van kunstmatige elektromagnetische velden (EMV), afkomstig van hoogspanningslijnen, mobiele telefoons, draadloze apparatuur en andere bronnen, op veroudering en ouderdomsgerelateerde ziekten (of ouderdomsziekten) krijgen steeds meer aandacht. De beschikbare informatie over de relatie tussen EMV en veroudering, en over de ouderdomsgerelateerde gevoeligheid voor EMV, is echter fragmentarisch. Daarom is een review noodzakelijk. Slechts een beperkt aantal studies onderzoekt rechtstreeks het effect van EMV op veroudering. De auteurs beoordeelden de impact van EMV op levensduur en cellulaire veroudering om na te gaan of EMV een effect heeft op veroudering. Daarnaast onderzochten ze de leeftijdsafhankelijke bio-effecten en gezondheidsimpact van EMV om te bepalen of veroudering de biologische gevoeligheid voor EMV beïnvloedt. De resultaten wijzen erop dat EMV mogelijk invloed heeft op levensduur en cellulaire veroudering, maar de bevindingen zijn inconsistent. Deze lijken afhankelijk van het type EMV (frequentie, intensiteit, vorm van de golf, enz.), het gebruikte diermodel en celtypen. Veroudering beïnvloedt de biologische of gezondheidsgerelateerde effecten van EMV, maar ook hier variëren de resultaten afhankelijk van het type EMV en het onderzochte eindpunt of gezondheidsuitkomst. Leeftijdsafhankelijke veranderingen in vrije-radicalenmetabolisme, ionenhomeostase, genexpressie, enzymactiviteit en biofysische eigenschappen van weefsels kunnen hiervoor verantwoordelijk zijn. De onderliggende mechanismen zijn echter nog onvoldoende duidelijk.

Histopathologische effecten van blootstelling aan straling van mobiele telefoons op de parameters van testikels en sperma : een systematische literatuurstudie van dierproeven [Histopathologic effects of mobile phone radiation exposure on the testes and sperm parameters: a systematic literature review of animal studies.]

Assefa EM, Abdu SM. Front Reprod Health. 2025 Jan 17;6:1515166.
https://doi.org/10.3389/frph.2024.1515166

Mannelijke onvruchtbaarheid, vaak toegeschreven aan onvoldoende productie van gezonde, actieve zaadcellen, kan worden versterkt door elektromagnetische straling van mobiele telefoons, die de normale spermatogenese verstoort en leidt tot een aanzienlijke afname van de kwaliteit van het sperma. Schade in de testikels veroorzaakt door straling van mobiele telefoons treedt voornamelijk op in Leydig-cellen, zaadbuisjes en spermacellen. Het doel van dit systematische literatuuronderzoek is om histopathologische veranderingen in de testikels als gevolg van blootstelling aan straling van mobiele telefoons te identificeren en de effecten ervan te onderzoeken op spermaparameters bij

proefdieren. In dit systematische onderzoek is uitgebreid literatuuronderzoek gedaan op basis van databases zoals PubMed, ScienceDirect, Hinari en Google Scholar.

In totaal werden 752 studies geïdentificeerd voor screening, en 18 studies werden geschikt bevonden voor gegevensextractie. Verschillende studies hebben histopathologische veranderingen in testiculair weefsel vastgesteld veroorzaakt door straling van mobiele telefoons, zoals een kleinere diameter van de zaadbuisjes, *tunica albuginea* en gereduceerde kiemepitheeldikte, hypoplasie van Leydig-cellen en een vergrote intertubulaire ruimte. Er werd aangetoond dat consistente blootstelling aan straling van mobiele telefoons het aantal zaadcellen, de beweeglijkheid en de levensvatbaarheid ervan aanzienlijk vermindert, terwijl ook de abnormale morfologie van zaadcellen bij mannelijke ratten, muizen en konijnen toeneemt.
Studies met diermodellen geven aan dat elektromagnetische straling van mobiele telefoons een negatieve invloed kan hebben op testiculair weefsel en spermaparameters, waaronder het aantal zaadcellen, de beweeglijkheid, de levensvatbaarheid en de morfologie. Het voorzorgsprincipe raadt preventieve maatregelen aan om de potentiële risico's van blootstelling aan mobiele telefoons te minimaliseren. Aanvullend onderzoek is nodig om de effecten van straling van mobiele telefoons op de reproductieve gezondheid van de mens volledig te begrijpen.

Het effect van elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons op het EEG in rusttoestand en neuronale elektrofysiologische reacties op prikkels : een systematische review en meta-analyse [The effect of mobile phone electromagnetic fields on the human resting state wake EEG and event-related potential: A systematic review and meta-analysis.]

Prins AC, Baas K, van der Meer JN, Jacobs M, Nederveen AJ. Bioelectromagnetics. 2025 Jan;46(1):e22531.
https://doi.org/10.1002/bem.22531

De snelle groei in het gebruik van mobiele telefoons en radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF) gaat hand in hand met een stijgende bezorgdheid van mogelijke gezondheidsrisico's. Onderzoek naar de effecten van RF-EMF op de hersenen maakt onder andere gebruik van elektro-encefalografie (EEG). Deze studie rapporteert een systematische review en meta-analyse van gepubliceerd onderzoek met als doel het identificeren van hoogwaardige studies als referentie voor het protocol voor toekomstige studies. De digitale zoekopdracht identificeerde 244 studies, waarvan in totaal 51 studies werden weerhouden na screening van de experimentele opzet en databeschikbaarheid. Van deze 51 studies onderzochten 31 (61%) de EEG in rusttoestand en 20 (39%) op neuronale elektrofysiologische prikkelreacties (ERPs). Geen van deze studies was vrij van bias. Een meta-analyse resulteerde in drie groepen voor EEG in rust op basis van zeven studies en tien groepen voor ERF op basis van vijf studies. Per groep varieerde het aantal studies van 1 tot 5. Volgens de auteurs is dit de eerste systematisch review binnen dit domein, en resulteert ze in drie belangrijke conclusies. Ten eerste bestaat er bewijs voor een effect van RF-EMF op het EEG bij een 2G-protocol met geopende ogen. Ten tweede vonden de auteurs geen bewijs voor EEG-effecten tijdens uitvoering van opdrachten, wat suggereert dat het effect van RF-EMF tijdens het uitvoeren van opdrachten minder uitgesproken is dan in rust. Ten derde blijkt uit deze meta-analyse dat de grote heterogeniteit tussen studies in dit vakgebied het opbouwen van robuust bewijs bemoeilijkt. De auteurs adviseren daarom dat toekomstige studies een dubbel-blind opzet hanteren, voldoen aan de methodologische standaard van gerandomiseerde studies, en het onderzoeksprotocol publiceren voorafgaand aan de uitvoering van de studie.

1.1.2 Neoplastische ziekten

In vivo studies

/

In vitro studies

/

(Anti-)Genotoxicity studies

/

1.1.3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen

In vivo studies

Mogelijke effecten van radiofrequente elektromagnetische straling op contextuele angstconditionering, de perivasculaire ruimte van de hippocampus, apoptose en de microarchitectuur van de bijnier bij ratten [Possible effects of radiofrequency electromagnetic radiation on contextual fear conditioning, hippocampal perivascular space, apoptosis and adrenal gland microarchitecture in rats.]

Narayanan SN, Kumar RS, Kumar N, Prabhakar P, Nayak SB, Bhat PG. Behav Brain Res. 2025 Mar 12;481:115424.
https://doi.org/10.1016/j.bbr.2025.115424

Terwijl de wereld getuige is van de enorme groei van mobiele telefoontechnologie, zijn de mogelijke gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische straling (RF-EMR) een onderwerp van discussie geworden. Deze studie test in vivo de hypothese dat chronische blootstelling aan 900 MHz-straling mogelijk het stressresponssysteem (de HPA-as) zou kunnen ontregelen via niet-thermische mechanismen, die leiden tot veranderingen in de microarchitectuur van de bijnier en kwetsbare hersengebieden zoals de hippocampus, en op deze manier een verandering gedrag veroorzaken bij ratten. Mannelijke albino Wistar-ratten van vier weken oud, met een gewicht van 50-60 g, werden gedurende vier weken blootgesteld aan 900 MHz-straling van een mobiele telefoon gedurende één uur per dag. Op de 29e dag werden dieren uit de controlegroep, de schijnblootstellingsgroep en de RF-EMR-blootstellingsgroep getest op contextuele angstconditionering. Ze werden later geëuthanaseerd om de cytoarchitectuur van de hippocampus en de bijnier te bestuderen. De overgangen tussen het lichte en donkere compartiment in de vermijdingsbox waren aanzienlijk verhoogd in de groep die was blootgesteld aan RF-EMR en ze vertoonden een significante afname in de latentie om het donkere compartiment binnen te gaan tijdens de contextuele angstconditioneringstest. Apoptose was duidelijk zichtbaar in het CA3-gebied en de perivasculaire ruimte van de hippocampus was aanzienlijk vergroot bij de blootgestelde groep. Naast lymfocytische infiltraten en verstopte sinusoïden waren er ook apoptose-achtige veranderingen zichtbaar in de zona fasciculata van de bijnier. De cytoarchitectuur van het bijniermerg was echter niet verschillend in de drie groepen. Chronische blootstelling aan RF-EMR veroorzaakte veranderingen in contextuele angstconditionering, vergroting van de perivasculaire ruimte in de hippocampus, duidelijke CA3-apoptose en apoptose-achtige veranderingen in de zona fasciculata van de bijnier bij ratten.

In vitro studies

Kortstondige blootstelling aan 2,4 GHz elektromagnetische straling op de productie van cellulaire ROS en apoptose in de SH-SY5Y-cellijn en het effect op de ontwikkeling van hersenweefsel van kippenembryo's [Short-term exposure of 2.4 GHz electromagnetic radiation on cellular ROS generation and apoptosis in SH-SY5Y cell line and impact on developing chick embryo brain tissue.]

Deena K, Maadurshni GB, Manivannan J, Sivasamy R. Mol Biol Rep. 2025 Jan 21;52(1):144. https://doi.org/10.1007/s11033-025-10217-8

Elektromagnetische straling (EMR) van draadloze technologie en mobiele telefoons werkt op verschillende frequenties. Deze studie analyseert de belangrijkste effecten van kortstondige blootstelling aan EMR met een frequentie van 2,4 GHz, waarbij gebruik wordt gemaakt van twee modellen: kippenembryo's en SH-SY5Y-cellijnen. De auteurs stelden de hypothese dat blootstelling aan deze frequentie zou leiden tot oxidatieve stress en apoptose in neuronen.
Kippenembryo's werden gedurende 5 dagen elke dag 4 uur continu blootgesteld aan 2,4 GHz EMR, en werden vergeleken met een controlegroep. Aan het einde van de blootstellingsperiode werden hersenweefsels ontleed voor histopathologische analyse, antioxidant assays en detectie van reactieve zuurstofspecies (ROS). Daarnaast werden SH-SY5Y-cellen blootgesteld aan 2,4 GHz EMR en beoordeeld inzake de levensvatbaarheid van de cellen, DNA-schade en apoptose. De resultaten toonden aan dat blootstelling aan 2,4 GHz EMR oxidatieve stress veroorzaakt in zowel kippenembryo's als SH-SY5Y-cellen, hoewel er geen significante impact op weefselniveau werd waargenomen. In SH-SY5Y-cellen nam de productie van ROS toe na 4 uur blootstelling, gepaard gaande met matige DNA-schade en vroege markers van apoptose, zoals upregulatie van het Bax-gen. Verder constateerden de auteurs dat antioxidanten, zoals NAC en Mito-TEMPO, de cytotoxische effecten van EMR hielpen verminderen in beide onderzochte modellen.
Als conclusie werd gesteld dat kortstondige blootstelling (4 uur) aan 2,4 GHz EMR leidt tot matige cellulaire en moleculaire veranderingen, voornamelijk oxidatieve stress. De oxidatieve stress werd verminderd door antioxidanten, wat wijst op mogelijke voordelen bij het vermijden van door EMR veroorzaakte cytotoxiciteit. Langdurige blootstelling aan EMR van meer dan 4 uur kan schadelijke gevolgen hebben voor de gezondheid van de mens, wat verder onderzoek rechtvaardigt.

1.1.4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

De invloed van duur van blootstelling aan 2,45 GHz wifi-straling op de kwaliteit van sperma en de histopathologie van de testikels: een onderzoek naar peroxidatieve schade. Antioxidants (Basel). [The Influence of 2.45 GHz Wi-Fi Exposure Duration on Sperm Quality and Testicular Histopathology: An Exploration of Peroxidative Injury. Antioxidants (Basel).]

Jamaludin N, Ibrahim SF, Jaffar FHF, Zulkefli AF, Osman K. 2025 Feb 4;14(2):179.
https://doi.org/10.3390/antiox14020179

Er bestaat een groeiende bezorgdheid over de invloed van draadloze technologie op de vruchtbaarheid van mannen, met name met betrekking tot de duur van blootstelling aan 2,45 GHz wifi-straling. Deze studie onderzoekt de invloed van variërende blootstellingsduur op spermaparameters en testiculaire histopathologie, waarbij de nadruk ligt op malondialdehyde als marker voor oxidatieve stress. Vierentwintig Sprague Dawley-ratten werden gedurende acht weken blootgesteld, waarna de concentratie, beweeglijkheid en levensvatbaarheid van hun sperma en

testiculaire histopathologie werden beoordeeld. Malondialdehydespiegels werden gemeten met behulp van een Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. Er werden eenzijdige ANOVA's met Tukey's post-hoc-tests uitgevoerd voor de spermaconcentratie, -beweeglijkheid en -levensvatbaarheid, de hoogte van het zaadepitheel en malondialdehyde. De Kruskal-Wallis H-test werd gebruikt voor de Johnsen-score en de diameter van de zaadbuisjes. De resultaten gaven aan dat 4 uur blootstelling aan 2,45 GHz-straling oxidatieve stress veroorzaakte en een negatief effect had op de spermaparameters en de ultrastructuur van de testikels. Na 8 uur werd een geleidelijk herstel waargenomen, met verdere verbetering na 24 uur, wat wijst op de activering van celherstelmechanismen. Dit werd ondersteund door significante veranderingen in de testiculaire orgaancoëfficiënten, wat wijst op mogelijk herstel. De bevindingen van de auteurs suggereren dat blootstelling aan wifi het vruchtbaarheidspotentieel van sperma vermindert, waarbij het lichaam een beperkt vermogen heeft om volledig te herstellen van de schade.

In vitro studies

/

1.1.5 Andere effecten

In vivo studies

Blootstelling aan 5G-radiofrequentie vermindert de genexpressie van PRDM16- en C/EBP β-mRNA, twee belangrijke biomarkers voor bruin adipogenese. [5G Radiofrequency Exposure Reduces *PRDM16* and *C/EBP β* mRNA Expression, Two Key Biomarkers for Brown Adipogenesis.]

Seewooruttun C, Bouguila B, Corona A, Delanaud S, Bodin R, Bach V, Desailloud R, Pelletier A. Int J Mol Sci. 2025 Mar 20;26(6):2792.
https://doi.org/10.3390/ijms26062792

Het wijdverbreide gebruik van draadloze technologie heeft geleid tot bezorgdheid over de biologische effecten van blootstelling aan radiofrequentie (RF) op de volksgezondheid. Kinderen hebben een hogere specifieke absorptiesnelheid (SAR) van stralingsenergie dan volwassenen. Bovendien komt bruin vetweefsel (BAT) vaker voor bij zuigelingen en neemt het af met de leeftijd. Eerdere dierstudies toonden een koudegevoel aan bij ratten die werden blootgesteld aan 900 MHz (tweede generatie, 2G). UCP1-afhankelijke thermogenese en BAT-hyperplasie zijn twee fundamentele adaptieve mechanismen die worden geactiveerd als reactie op kou. In deze studie werd het effect onderzocht van kortstondige blootstelling aan 2G en vijfde generatie (5G) op belangrijke thermogene en adipogene markers in verband met deze mechanismen, waarbij rekening werd gehouden met leeftijd en blootstellingsduur. Jonge en jonge volwassen Wistar-ratten werden willekeurig verdeeld in drie subgroepen: een 5G-groep (3,5 GHz), een 2G-groep (900 MHz) en een controlegroep (SHAM). Ze werden gedurende 1 of 2 weken blootgesteld aan hun respectieve continue RF-signalen met een intensiteit van 1,5 V/m, met twee blootstellingssessies van 1 uur per dag. Na de blootstellingsperiode werd een RT-qPCR uitgevoerd om de genetische markers te evalueren die betrokken zijn bij BAT-thermogenese en adipogenese. Een effect werd gevonden voor twee adipogene biomarkers; een vermindering van respectievelijk 49% en 32% werd gedetecteerd voor PRDM16 ($p = 0,016$) en C/EBP β ($p = 0,0002$) na blootstelling aan 5G, ongeacht leeftijd en blootstellingsduur. Er werd geen significant effect gevonden van RF op UCP1-afhankelijke thermogenese op transcriptieniveau. Deze bevindingen suggereren dat blootstelling aan 5G-radiofrequentie de differentiatie van bruine adipocyten en de thermogene functie gedeeltelijk kan verstoren door PRDM16 en C/EBP β te downreguleren, wat mogelijk leidt tot een hogere gevoeligheid voor kou.

In vitro studies

Kortstondige in vitro blootstelling van menselijk bloed aan 5G-netwerkfrequenties: hebben geslacht en frequentie een bijkomend effect op de morfometrie van erytrocyten? [Short-Term In Vitro Exposure of Human Blood to 5G Network Frequencies: Do Sex and Frequency Additionally Affect Erythrocyte Morphometry?]

Žura N, Vince S, Perić P, Vilić M, Malarić K, Rimac V, Golubić Ćepulić B, Vajdić M, Jurak I, Milinković Tur S, Poljičak Milas N, Samardžija M, Nemir J, Telebuh M, Žura Žaja I. Biomedicines. 2025 Feb 15;13(2):478.
https://doi.org/10.3390/biomedicines13020478

Deze studie onderzocht de effecten van 5G-radiofrequente elektromagnetische straling (RF-EMR) bij verschillende frequenties (700 MHz, 2500 MHz, 3500 MHz) op het volledige aantal bloedcellen (CBC), de morfometrie van erytrocyten en de activering van bloedplaatjes na kortstondige in-vitro-blootstelling van menselijk bloed. Er werden bloedmonsters genomen van 30 gezonde vrijwilligers (15 mannen en 15 vrouwen, met een leeftijd van 25-40 jaar) op drie tijdstippen (met tussenpozen van 14 dagen). Bij elke bloedafname werden vier buisjes bloed afgenomen per vrijwilliger: twee voor het experiment en twee ter controle. De experimentele monsters werden gedurende 2 uur bij kamertemperatuur blootgesteld aan 5G RF-EMR met behulp van een halfkegelvormige gigahertz transversale elektromagnetische cel. Het bloedbeeld (CBC) werd geanalyseerd met een hematologieanalysator, de erytrocytenmorfometrie werd geanalyseerd met behulp van het SFORM-programma en de bloedplaatjesactivatie werd geanalyseerd met behulp van flowcytometrie. Het bloedbeeld (CBC) en de bloedplaatjesactivatie vertoonden geen significante verschillen tussen de experimentele en de controlemonsters. De erytrocytenmorfometrie vertoonde echter opmerkelijke veranderingen.
Bij 700 MHz namen de grootte, contour en membraanruwheid van de erytrocyten bij beide geslachten significant toe, waarbij de cellen van vrouwen een grotere gevoeligheid vertoonden. Bij 2500 MHz vertoonden vrouwen een verhoogde contourindex en een verminderde stevigheid en vormfactor. Bij 3500 MHz vertoonden vrouwen een verhoogde contourindex en omtrek, maar een verminderde stevigheid, elongatie en vormfactor. Clusteranalyse identificeerde twee subpopulaties van erytrocyten: kleinere, rondere cellen met gladde membranen en grotere cellen met ruwere membranen. Conclusies: Deze resultaten geven aan dat blootstelling aan 5G RF-EMR de morfometrie van erytrocyten significant verandert. De sterkste effecten werden waargenomen bij 700 MHz, waarbij mannen een grotere membraanruwheid vertoonden en vrouwen grotere en rondere erytrocyten. Deze bevindingen suggereren dat kortstondige in vitro blootstelling aan 5G RF-EMR het cytoskelet verstoort, waardoor de membraanpermeabiliteit en vervormbaarheid toenemen.

Een nieuwe methodiek voor het bereiken van precisie en reproduceerbaarheid in een 1,8 GHz radiofrequentie-blootstellingssysteem dat intracellulaire ROS moduleert als functie van signaalamplitude in menselijke celculturen. [A Novel Method for Achieving Precision and Reproducibility in a 1.8 GHz Radiofrequency Exposure System That Modulates Intracellular ROS as a Function of Signal Amplitude in Human Cell Cultures.]

Dahon C, Aguida B, Lebon Y, Le Guen P, Dangremont A, Meyer O, Citerne JM, Pooam M, Raad H, Thoradit T, Jourdan N, Bertagna F, Ahmad M. Bioengineering (Basel). 2025 Mar 4;12(3):257.
https://doi.org/10.3390/bioengineering12030257

Radiofrequente velden tussen 1 en 28 GHz zijn alomtegenwoordig in de moderne wereld, wat aanleiding heeft gegeven tot talrijke studies naar mogelijke gezondheidsrisico's zoals kanker,

neurologische aandoeningen, reproductieve risico's en elektromagnetische hypergevoeligheid. De resultaten zijn echter inconsistent vanwege een gebrek aan precisie in de beschrijving van blootstelling en sterk uiteenlopende experimentele modellen, terwijl de gemeten RF-effecten vaak indirect zijn en zich gedurende uren of zelfs dagen voordoen. In deze studies stellen de auteurs een vereenvoudigd RF-blootstellingsprotocol voor waarbij een enkele draaggolffrequentie van 1,8 GHz wordt toegepast op menselijke HEK293-celmonolaagculturen. Een op maat gemaakte blootstellingsbox en antenne in een volledig afgeschermde echovrije kamer zenden discrete RF-signalen uit die nauwkeurig kunnen worden gekarakteriseerd en gemodelleerd. De gekozen amplitudes zijn niet-thermisch en vallen binnen het bereik van moderne telecommunicatieapparatuur.
Een cruciaal kenmerk van het protocol is dat celculturen slechts worden blootgesteld aan één enkele, korte (15 minuten) RF-blootstellingsperiode, gevolgd door detectie van onmiddellijke, snelle veranderingen in genexpressie. Op deze manier tonen de auteurs aan dat modulatie van genen die betrokken zijn bij oxidatieve stress en ROS-signalering tot de eerste cellulaire reacties op RF-blootstelling behoren. Bovendien reageren deze genen op complexe wijze op variërende RF-signaalamplitudes, in overeenstemming met een hormetisch, receptorgestuurd biologisch mechanisme. Ze concluderen dat de inductie van milde cellulaire stress en reactieve zuurstofspecies (ROS) een primaire reactie is van menselijke cellen op RF-signalen, en dat deze reacties optreden bij RF-signaalamplitudes binnen het bereik van normale telecommunicatieapparatuur. Ze suggereren dat deze methode kan helpen bij het opstellen van richtlijnen voor een grotere betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid van onderzoeksresultaten tussen laboratoria, en daarmee kan helpen bij het oplossen van bestaande controverses over de onderliggende mechanismen en resultaten van RF-blootstelling bij de algemene bevolking.

Door radiofrequentie geïnduceerde tijdsafhankelijke veranderingen in genexpressie en apoptose in glioblastoomcellijn. [Radiofrequency Induced Time-Dependent Alterations in Gene Expression and Apoptosis in Glioblastoma Cell Line.]
Tuysuz MZ, Kayhan H, Saglam ASY, Senturk F, Bagriacik EU, Yagci M, Canseven AG. Bioelectromagnetics. 2025 Jan;46(1):e22543.
https://doi.org/10.1002/bem.22543

Het wijdverbreide gebruik van draadloze communicatietechnologieën heeft de blootstelling van mensen aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV's) vergroot. Gezien de kleine afstand van de hersenen tot mobiele telefoons en het volledig elektrische transmissienetwerk ervan, blijken de hersenen het orgaan te zijn dat het meest wordt beïnvloed door het RF-veld. Deze studie heeft tot doel de mogelijke effecten van RF-straling op de levensvatbaarheid van cellen, apoptose en genexpressie in glioblastoomcellen (U118-MG) bij verschillende blootstellingstijden (1, 24 en 48 uur) te onderzoeken. Hiervoor hebben de auteurs een in vitro RF-blootstellingssysteem ontworpen en geïmplementeerd dat werkt op een frequentie van 2,1 GHz, specifiek voor celcultuurstudies, met een gemiddelde specifieke absorptiesnelheid (SAR) van 1,12 ± 0,18 W/kg, bepaald door middel van numerieke dosimetrische berekeningen. De resultaten tonen een significant effect van een 48 uur-blootstelling aan een 2,1 GHz RF-veld op de levensvatbaarheid van U118-MG-cellen, genexpressie en de inductie van caspase (CASP)-afhankelijke apoptose. Verhoogde CASP3-, CASP8- en CASP9-mRNA-niveaus werden waargenomen na 24 en 48 uur RF-behandeling. Apoptotische celdood en een significante verhoging van de BAX/BCL-2-ratio werd enkel geobserveerd bij 48-uur RF blootstelling. Dit waargenomen effect kan worden beïnvloed door langdurige blootstelling die de verdubbelingstijd van de cel overschrijdt. De verhoogde BAX/BCL-2-verhouding, die fungeert als een belangrijke schakelaar voor apoptose, en de heterogene morfologie van de uit astrocyten afkomstige U118-MG-cellijn kunnen hierbij ook een rol spelen.

1.1.6 Algemene conclusies van dit trimester

Dit rapport bespreekt 5 review papers en 7 experimentele studies over de mogelijke gezondheidseffecten bij blootstelling aan radiofrequente electromagnetische velden (RF-EMF). We hadden geen toegang tot de oorspronkelijke tekst van 1 experimentele studie (Bektas & Dasdag). De kwaliteit van deze studie kon als gevolg niet worden geëvalueerd, maar om volledig te zijn hebben we de referentie naar deze paper eveneens opgenomen.

De review paper van Bektas & Dasdag was echter wel beschikbaar, waarin de auteurs een review uitvoeren van de gepubliceerde studies bij een menselijke populatie, op diermodellen en in-vitro studies inzake RF-EMF blootstelling en de ziekte van Alzheimer. Op basis van deze review werd besloten dat blootstelling aan RF-EMF zowel schadelijke (vb. oxidatieve stress) als beschermende (verbeterde mitochondriale functies in de hersenen) effecten kan hebben i.v.m. de ziekte van Alzheimer. De methodiek voor de evaluatie van de beschikbare literatuur in deze studie toont echter verschillende gebreken. Ten eerste hebben de auteurs geen systematische review uitgevoerd, wat het trekken van onderbouwde conclusies beperkt. Ten tweede werden studies op dierlijke en menselijke populaties als 1 groep behandeld, en werden zowel schadelijke als beschermende effecten beschouwd. Ten laatste werden algemene vage zoektermen gebruikt en werden de gezondheidsuitkomsten vaag beschreven als “schadelijk” of “behandeling” voor de “ziekte van Alzheimer”. Het zou meer relevant geweest zijn om in deze studie eveneens de beoogde biomarkers bij naam op te nemen (bvb. “oxidatieve stress”, “amyloid-beta”, …) bij de zoektermen voor het literatuuronderzoek. Bovendien kwamen het blootstellingsniveau en het gebruikte signaal in enkele studies niet overeen met real-life blootstellingwaarden. Tenslotte werd voor de experimentele studies niet nagegaan of gebruik gemaakt werd van temperatuurmetingen of een geblindeerd condities Dit zijn beide belangrijke parameters bij de beoordeling van de beschikbare literatuur. Als gevolg moeten de resultaten van deze review met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Een tweede literatuurstudie onderzocht de effecten van EMF op ouderdomsziekten. De auteurs hiervan stellen de auteurs dat EMF mogelijks een effect kan hebben op veroudering (levensduur en cellullaire senescentie). Zij merkten op dat de resultaten inconsistent waren en dat de onderliggende mechanismen verder onderzocht moeten worden. Ook heeft deze review methodologische beperkingen. Net zoals de review van Bektas H. et al. voerden de auteurs geen systematische review uit van de wetenschappelijke literatuur, waardoor geen onderbouwde conclusies kunnen getrokken worden. Bovendien werden alle types studies (zowel experimentele als epidemiologische studies) en het hele EMF spectrum – van statische velden tot hoge frequenties – behandeld in één en dezelfde reviewstudie. De effecten van EMV moeten per golflengte (of per groepering van gelijkaardige golflengtes) worden geëvalueerd, aangezien verschillende golflengtes verschillende kenmerken en eigenschappen hebben en daarom verschillende effecten kan veroorzaken. Bovendien hebben de auteurs in hun beoordeling van de experimentele studies geen rekening gehouden met kwaliteitscriteria (blootstellingskarakterisering, temperatuur, blindering, enz.). Ook hier geldt dat de resultaten van deze studie met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd.

Een derde literatuuronderzoek (Assefa et al.) onderzocht de effecten van RF-EMF afkomstige van mobiele telefoons op mannelijke vruchtbaarheid (parameters van testikels en sperma). De auteurs kwamen tot het besluit dat RF-EMF schadelijke effecten heeft op testikelweefsel en eigenschappen van sperma (beweeglijkheid, levensvatbaarheid, …). De auteurs roepen daarom op om het onderzoek hiernaar verder te zetten en raden beschermende maatregelen aan. De literatuurstudie bevat een beschrijving van de gebruikte methodologie, de inclusie- en uitsluitingscriteria en volgt de richtlijnen uit 2020 voor de rapportering van systematische literatuurstudies en meta-analyses (PRISMA). De auteurs hebben echter niet de kwaliteit van de studies beoordeeld, en ook andere kwaliteitscriteria ontbraken, zoals bvb. blindering, temperatuursmetingen, en *dummy* of *sham* blootstelling. In de

review werden ook studies opgenomen waarin mobiele telefoons als blootstellingssysteem werden gebruikt. Mobiele telefoons zijn ongeschikt als blootstellingssysteem omdat ze geen controle geven over de blootstelling van de proefdieren. Bovendien was er niet voor alle studies informatie beschikbaar over de dosimetrie-informatie. Daarnaast namen ze, ter ondersteuning van hun discussie, manuscripten op over laagfrequente straling en gammastraling. Dit is problematisch omdat dit type straling zeer verschillende kenmerken heeft dan RF-EMF. De auteurs vermeldden enkele beperkingen, zoals de kleine steekproefomvang en de heterogeniteit in de opzet van de opgenomen studies. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft onlangs systematische reviews en meta-analyses opgesteld over RF-EMV en mannelijke vruchtbaarheid, die meer genuanceerde conclusies bevatten en de noodzaak benadrukken van studies van betere kwaliteit voordat definitieve conclusies kunnen worden getrokken. Rekening houdend met deze beperkingen moeten ook de resultaten van deze studie met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Een vierde en laatste studie (Prins et al.) voerde een systematische literatuurstudie uit op experimentele studies naar de effecten van EMF-RF aan de hand van een elektro-encefalogram (EEG) en de neuronale elektrofysiologische prikkelreacties (ERPs) van mensen in rusttoestand. De auteurs vulden hun werk aan met meta-analyses van de verzamelde artikelen. Ze vonden geen significante effecten, behalve in de meta-analyse over gepulseerde modulatie (PM) 2G bij deelnemers met open ogen (OE) tijdens experimenten waarbij de alfa-band-activiteit significant was toegenomen. Het risico op vertekening werd ook beoordeeld, wat een hoog risico aangaf voor twee studies en enige bezorgdheid voor de rest van de studies die in deze meta-analyse waren opgenomen. Dit was voornamelijk te wijten aan randomisatieproblemen, periode- en overdrachts effecten en afwijkingen van de beoogde interventies. De auteurs concludeerden dat blootstelling aan 2G in OE-omstandigheden bij experimenten een effect heeft op het EEG, hoewel de performantie bij de taak hierop geen invloed leek te hebben. Deze resultaten zijn echter gebaseerd op een klein aantal studies (5 voor 2G EO-omstandigheden, waaronder 4 van dezelfde onderzoeksgroep). Bovendien hebben de auteurs terecht gewezen op de grote heterogeniteit in de methodologie bij de opgenomen studies, wat het moeilijk maakt deze te vergelijken. De auteurs wijzen op de noodzaak aan verder onderzoek van goede kwaliteit om deze bevindingen te bevestigen. Naast de door de auteurs genoemde beperkingen merken we op dat de auteurs bij hun beoordeling van het risico op vertekening geen rekening hebben gehouden met de karakterisering van de blootstelling, noch met dubbelblinde omstandigheden, twee belangrijke kwaliteitscriteria voor experimentele studies. Dit zou bijzonder relevant zijn geweest, aangezien sommige studies geen adequate informatie over de dosimetrie rapporteerden en niet alle studies dubbelblind waren.

De meeste experimentele studies die in dit rapport worden gepresenteerd, hadden een gebrekkige studie-opzet. Verschillende studies verstrekten geen adequate informatie over de dosimetrie (Narayanan et al., Deena et al., Jamaludin et al., Žura et al., Dahon et al.). In twee studies was het gebruikte blootstellingssysteem niet geschikt voor het beoogde doel en werden de blootstellingsomstandigheden niet voldoende gecontroleerd (Narayanan et al., Deena et al.). In beide publicaties werd in de experimentele opzet een mobiele telefoon gebruikt, waardoor de werkelijke blootstelling niet kan worden beoordeeld, aangezien de veldsterkte van experiment tot experiment kan variëren, afhankelijk van verschillende parameters, zoals de locatie van de gebruiker ten opzichte van de antenne, het gebruik van de mobiele telefoon (gesprekken, bestandsoverdracht, enz.), de duur van het gesprek, ... Bovendien is het bij de studie van Jamaludin onduidelijk of de door de auteurs gekozen blootstellingsomstandigheden geschikt waren voor het beoogde objectief, wat leidt tot onzekerheid over de blootstelling. Verschillende studies hadden geen schijnproefgroep (*sham* blootstelling) of gaven onvoldoende informatie om te kunnen bepalen of de auteurs een aangepaste *sham* blootstelling hadden opgenomen (Žura et al., Deena et al., Jamaludin et al.). Bovendien heeft een aanzienlijk aantal studies hun experimenten niet onder geblindeerde omstandigheden uitgevoerd

(Narayanan et al., Deena et al., Jamaludin et al., Žura et al., Dahon et al.) en hebben sommige studies de temperatuur niet gecontroleerd (Narayanan et al., Deena et al., Žura et al.).

Eén studie, de studie van De Tuysuz et al., voldoet aan alle kwaliteitscriteria. De auteurs observeerden significante effecten op glioblastoomcellen, vooral na 48 uur blootstelling aan RF-EMF (vermindering van de levensvatbaarheid van cellen, toename van apoptotische activiteit: caspase-inductie en BAX/BCL-2-ratio), terwijl bij 24 uur blootstelling slechts enige caspase-inductie werd waargenomen. Daarom blijven de auteurs voorzichtig en wijzen zij op de noodzaak van een beter begrip van de interacties.

Ondanks het ontbreken van geblindeerde omstandigheden voldoet het onderzoek van Seewooruttun et al. ook aan de meeste kwaliteitscriteria. De auteurs observeerden een afname van de expressie van adipogene biomarkers (C/EBP β en PRDM16), maar geen effect op een eiwit (UCD1) dat betrokken is bij het reguleringsproces van thermogenese. Deze resultaten moeten echter met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. De auteurs onderlijnen dat de experimenten werden uitgevoerd op een beperkt aantal ratten. Ze vermelden ook dat ze geen aanvullende analyses konden uitvoeren om hun bevindingen met betrekking tot de onderzochte eiwitten (UCD1, UCD3) te valideren, aangezien de gemeten mRNA-niveaus niet altijd de werkelijke eiwitniveaus weerspiegelen. Aangezien dit een van de eerste studies is naar de mogelijke effecten van RF-EMF op adipogenese, is verder onderzoek nodig voordat conclusies kunnen worden getrokken.

Op basis van de studieresultaten die in dit rapport worden gepresenteerd, kunnen we geen conclusies trekken over nieuwe negatieve gezondheidseffecten die worden veroorzaakt door RF-EMF. Over het algemeen blijft het belangrijk om de methodologische kwaliteit van experimentele studies in overweging te nemen alvorens conclusies te trekken over gezondheidseffecten.

1.2 EPIDEMIOLOGISCHE STUDIES

1.2.1 Reviews en meta-analyses

Kennishiaten met betrekking tot de "ICNIRP-richtlijnen voor het beperken van blootstelling aan tijdsvariërende elektrische, magnetische en elektromagnetische velden (100 KHz tot 300 GHz)"

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (2025). Gaps in Knowledge Relevant to the "ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz TO 300 GHz)". *Health physics*, *128*(2), 190–202. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001944

Achtergrond: In de afgelopen 30 jaar hebben zowel observationele als experimentele studies mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV) met radiofrequenties onderzocht, evenals mogelijke interactiemechanismen. Het hoofddoel van ICNIRP is het beschermen van mensen en het milieu tegen schadelijke blootstelling aan alle vormen van niet-ioniserende straling (NIS), door advies en richtlijnen te geven die gebaseerd zijn op wetenschappelijk onderzoek naar specifieke delen van het elektromagnetische spectrum.

Methoden: Tijdens de ontwikkeling van ICNIRP's richtlijnen uit 2020 voor EMV met radiofrequenties, werden enkele hiaten in de beschikbare gegevens vastgesteld. Om verder onderzoek naar kennishiaten te stimuleren – onderzoek dat, indien uitgevoerd, ICNIRP zou helpen bij het verder

ontwikkelen van richtlijnen en het opstellen van herziene aanbevelingen over blootstellingslimieten – worden in deze Verklaring de gegevenshiaten beschreven die werden geïdentificeerd tijdens de ontwikkeling van de richtlijnen uit 2020, in combinatie met latere overweging van de literatuur. Merk op dat dit proces en de daaruit voortvloeiende aanbevelingen niet bedoeld waren om traditionele onderzoeksagenda's te dupliceren, die gericht zijn op het in algemene zin uitbreiden van kennis in dit domein. De focus lag daarentegen strikt op het vaststellen van de hoogste prioriteiten wat betreft gegevenshiaten voor de ontwikkeling van richtlijnen. Als gevolg hiervan omvatten de aanbevelingen in dit document niet alle leemtes in de literatuur die in principe relevant zouden kunnen zijn voor gezondheidseffecten van radiofrequente EMV, maar die uitgesloten zijn omdat ofwel het verband tussen blootstelling en effect, ofwel het verband tussen effect en gezondheid, onvoldoende ondersteund werd door de literatuur.

Resultaten en conclusies: De evaluatie van deze onderzoeksgebieden heeft de volgende gegevenshiaten geïdentificeerd:
(1) Vraagstukken met betrekking tot de relatie tussen blootstelling aan radiofrequente EMV en door warmte veroorzaakte pijn; (2) Verduidelijking van de relatie tussen blootstelling van het hele lichaam en stijging van de kerntemperatuur binnen het bereik van 100 kHz tot 300 GHz, afhankelijk van de duur van de blootstelling en combinaties van EMV-blootstellingen; (3) Drempels voor schadelijke effecten en thermische dosimetrie voor verschillende oogstructuren; (4) Pijndrempels voor contactstromen onder verschillende blootstellingsscenario's, inclusief bijbehorende dosimetrie; en (5) Een reeks aanvullende dosimetrische studies ter ondersteuning van toekomstig onderzoek, en ook om de toepassing van blootstellingsbeperkingen aan radiofrequente EMV in toekomstige richtlijnen te verbeteren.

Invloed van blootstelling aan radiofrequente velden op het kankerrisico bij de algemene en werkende bevolking: een systematische review van observationele mensenstudies – Deel II: Minder onderzochte uitkomsten

Karipidis, K., Baaken, D., Loney, T., Blettner, M., Mate, R., Brzozek, C., Elwood, M., Narh, C., Orsini, N., Röösli, M., Paulo, M. S., & Lagorio, S. (2025). The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies - Part II: Less researched outcomes. *Environment international*, *196*, 109274.
https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109274

Achtergrond: In het kader van de evaluatie door de Wereldgezondheidsorganisatie van gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV), voerden de auteurs een systematische review uit van observationele mensenstudies over het verband tussen blootstelling aan RF-EMV en het risico op neoplastische aandoeningen. Vanwege het zeer grote aantal combinaties van blootstellingstypes/-omgevingen en soorten neoplasma's, werd besloten de resultaten van de review in twee afzonderlijke artikelen te presenteren. Dit tweede artikel richt zich op minder onderzochte neoplasma's, waaronder tumoren van het lymfohematopoëtische systeem, schildklierkanker en kanker van de mondholte/keelholte, in relatie tot het gebruik van draadloze telefoons of beroepsmatige RF-blootstelling.

Methoden: *Inclusiecriteria:* De review omvatte cohort- en case-controlstudies naar het risico op neoplasmata in relatie tot drie soorten RF-EMV-blootstelling:

1. blootstelling door gebruik van draadloze telefoons;
2. milieublootstelling door zendinstallaties op vaste locaties;
3. beroepsmatige blootstelling.

Dit artikel richt zich op minder onderzochte neoplasma's, waaronder leukemie, non-Hodgkin-lymfoom en schildklierkanker bij mobiele telefoongebruikers, en tumoren van het lymfohematopoëtische systeem en kanker van de mondholte/keelholte bij beroepsmatig blootgestelden. De auteurs onderzochten specifiek combinaties van blootstelling en uitkomst (exposure-outcome pairs, E-O-paren), waarbij een enkel artikel meerdere E-O-paren kon behandelen.
Informatiesystemen: Relevante studies werden geïdentificeerd via vooraf gedefinieerde literatuurzoekacties in Medline, Embase en EMF-Portal.
Beoordeling van risico op bias (RoB): De auteurs gebruikten een aangepaste versie van het OHAT (Office of Health Assessment and Translation) RoB-instrument om de interne validiteit van elke studie te beoordelen. De studies werden vervolgens ingedeeld in drie categorieën op basis van het algehele risico op bias (laag, matig, hoog) binnen geselecteerde, vooraf bepaalde en relevante biasdomeinen.
Datasynthese: De resultaten van de studies werden samengevoegd met behulp van random effects restricted maximum likelihood (REML)-modellen.
Beoordeling van de bewijskracht: Het vertrouwen in het bewijs werd beoordeeld volgens de GRADE-methode (Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations).

Resultaten: De review omvatte 26 artikelen, gepubliceerd tussen 1988 en 2019, afkomstig uit 10 landen, met in totaal 143 verschillende E-O-paren en 65 verschillende typen neoplasma's. Van deze paren voldeden er 19 aan de criteria voor kwantitatieve synthese van het bewijs over de risico's op leukemie, non-Hodgkin-lymfoom of schildklierkanker in verband met mobiel telefoongebruik, en de risico's op tumoren van het lymfohematopoëtische systeem of mondholte-/keelholtekanker in verband met beroepsmatige blootstelling aan RF-EMV.
Blootstelling aan RF-EMV door mobiel telefoongebruik (ooit of regelmatig gebruik versus nooit of niet-regelmatig gebruik) werd niet geassocieerd met een verhoogd risico op:

- leukemie [mRR = 0,99, 95% CI 0,91–1,07, 4 studies],
- non-Hodgkin-lymfoom (mRR = 0,99, 95% CI = 0,92–1,06, 5 studies),
- schildklierkanker (mRR = 1,05, 95% CI = 0,88–1,26, 3 studies).

Langdurig gebruik (10+ jaar) van mobiele telefoons was evenmin geassocieerd met een verhoogd risico op:

- leukemie (mRR = 1,03, 95% CI 0,85–1,24, 3 studies),
- non-Hodgkin-lymfoom (mRR = 0,99, 95% CI 0,86–1,15, 3 studies),
- schildklierkanker (geen gezamenlijke schatting wegens te weinig studies).

Er waren onvoldoende studies om dosis-respons-meta-analyses uit te voeren voor de totale belduur of het aantal gesprekken. Individuele studies toonden geen statistisch significante verbanden aan tussen de intensiteit van het gebruik van mobiele telefoons over de levensduur en enig specifiek neoplasma.
Beroepsmatige RF-EMV-blootstelling (blootgesteld versus niet-blootgesteld) werd niet geassocieerd met een verhoogd risico op:

- tumoren van het lymfohematopoëtische systeem (mRR = 1,03, 95% CI = 0,87–1,28, 4 studies),
- kanker van mondholte/keelholte (mRR = 0,68, 95% CI = 0,42–1,11, 3 studies).

Er waren te weinig studies om een meta-analyse uit te voeren naar de intensiteit of duur van beroepsmatige blootstelling. Individuele studies toonden ook hier geen significante verbanden aan met specifieke neoplasma's.
Het kleine aantal studies – en in sommige gevallen het geringe aantal blootgestelde gevallen – belemmerde de beoordeling van statistische heterogeniteit tussen studies in de meta-analyses.
Op basis van het samenvattende risico op bias werd het merendeel van de studies in de kwantitatieve synthese ingedeeld als matig risico op bias. De meest kritieke kwestie was bias in blootstellingsinformatie, vooral bij beroepsmatige studies, waar de blootstellingskarakterisering als hoog risico werd beoordeeld. Bias in uitkomstinformatie was een probleem in mortaliteitsgebaseerde

cohortstudies die niet-acuut fatale neoplasma's onderzochten. Ook werden het "gezonde abonnee-effect" en – in mindere mate – het "gezonde werknemer-effect" aangeduid als mogelijke verklaringen voor verlaagde risico's in sommige studies.
Het verband tussen RF-EMV-blootstelling via draadloze telefoons of werkplekapparatuur en andere belangrijke neoplasma's werd slechts door één of twee studies per type tumor onderzocht. Er werd dan ook geen kwantitatieve synthese uitgevoerd voor deze uitkomsten. Over het algemeen werden er geen statistisch significante verbanden gevonden tussen blootstelling en uitkomst, ongeacht de blootstellingsmaat of het niveau, hoewel enkele studies verlaagde risico's rapporteerden (vooral voor kankers gerelateerd aan roken).
Er was slechts één studie die het effect van RF-EMV-blootstelling door zendinstallaties op minder onderzochte neoplasma's onderzocht. Deze vond geen statistisch significante verbanden tussen blootstelling aan basisstations en het risico op lymfomen in het algemeen, lymfoomsubtypes, of chronische lymfatische leukemie bij volwassenen.

Conclusies: Voor RF-EMV-blootstelling nabij het hoofd door mobiele telefoons is er lage zekerheid van bewijs dat dit het risico op leukemie, non-Hodgkin-lymfoom of schildklierkanker niet verhoogt. Voor beroepsmatige RF-EMV-blootstelling is er zeer lage zekerheid van bewijs dat dit het risico op tumoren van het lymfohematopoëtische systeem of mondholte-/keelholtekanker niet verhoogt. Er is onvoldoende bewijs om het effect te beoordelen van verre veld RF-EMV-blootstelling van het hele lichaam door zendinstallaties, of van RF-EMV uit andere bronnen op andere belangrijke neoplasma's.

Invloed van niet-ioniserende straling op de mannelijke vruchtbaarheid: een systematische review

Motchidlover, L., Sari-Minodier, I., Sunyach, C., Metzler-Guillemain, C., & Perrin, J. (2025). Impact of non-ionising radiation of male fertility: a systematic review. *The French journal of urology*, *35*(1), 102800.
https://doi.org/10.1016/j.fjurol.2024.102800

Achtergrond: Blootstelling aan niet-ioniserende straling is tegenwoordig onvermijdelijk geworden, aangezien mensen voortdurend omringd zijn door bronnen van elektromagnetische velden, zoals wifi of mobiele telefoons. Eén van de veronderstelde werkingsmechanismen is dat de door deze niet-ioniserende straling uitgezonden energie warmte kan veroorzaken, wat schadelijke effecten zou kunnen hebben op de kwaliteit van het sperma. Het doel van deze studie was om een systematische literatuurreview uit te voeren over de impact van blootstelling aan niet-ioniserende straling afkomstig van mobiele telefoons (of andere bronnen) op spermaparameters.

Methoden: De auteurs voerden een systematische review uit van vier databanken, waarbij ze studies selecteerden die het verband onderzochten tussen blootstelling aan niet-ioniserende straling en verschillende parameters van de mannelijke vruchtbaarheid. Zowel *in vivo*-studies bij mensen als *in vitro*-studies bij dieren werden meegenomen om een breed beeld te krijgen van de mogelijke effecten.

Resultaten: De auteurs includeerden 12 studies. De meerderheid van zowel de *in vivo*-studies bij mensen als de *in vitro*-studies bij dieren rapporteerde een significant effect op zaadconcentratie, beweeglijkheid en vitaliteit. Vooral beweeglijkheid en vitaliteit blijken de parameters te zijn die het vaakst nadelig worden beïnvloed door blootstelling aan niet-ioniserende straling.

Conclusies: Het bewijs uit deze systematische review suggereert dat blootstelling aan elektromagnetische straling van mobiele telefoons schadelijke effecten kan hebben op de mannelijke vruchtbaarheid. De auteurs benadrukken echter dat verder onderzoek nodig is om een oorzakelijk verband definitief vast te stellen en om de onderliggende mechanismen beter te begrijpen. Zij raden mannen die bezorgd zijn over hun voortplantingsgezondheid aan om hun blootstelling aan niet-ioniserende straling zoveel mogelijk te beperken, uit voorzorg.

Beoordelingsmethoden van menselijke blootstelling aan elektrische en magnetische velden van draadloze energieoverdrachtsystemen – Modellen, instrumentatie, meting en computationele methoden en procedures (frequentiebereik van 3 KHz tot 30 MHz)

"IEC/IEEE International Standard - Assessment methods of the human exposure to electric and magnetic fields from wireless power transfer systems - models, instrumentation, measurement and computational methods and procedures (frequency range of 3 kHz to 30 MHz)," in IEC/IEEE 63184:2025, pp.1-304, 25 Feb. 2025.
https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2025.10901988

Achtergrond: Met de toenemende toepassing van draadloze energieoverdrachtssystemen (WPT-systemen) die opereren in het frequentiebereik van 3 kHz tot 30 MHz, zijn er zorgen ontstaan over de menselijke blootstelling aan de elektrische en magnetische velden die door deze systemen worden opgewekt. Om veiligheid en naleving van richtlijnen voor elektromagnetische blootstelling te garanderen, zijn gestandaardiseerde beoordelingsmethoden essentieel. De norm IEC/IEEE 63184:2025 speelt hierin een belangrijke rol en beschrijft procedures voor de evaluatie van menselijke blootstelling aan elektromagnetische velden van WPT-systemen.

Methoden: De norm beschrijft uitgebreide beoordelingsmethoden, waaronder:

- Modellen: Het ontwikkelen van nauwkeurige lichaamsmodellen van de mens om blootstellingsscenario's te simuleren.
- Instrumentatie: Specificaties van meetinstrumenten die geschikt zijn om elektrische en magnetische veldsterktes binnen het aangegeven frequentiebereik nauwkeurig te meten.
- Meetprocedures: Gedetailleerde richtlijnen voor het uitvoeren van metingen ter beoordeling van de naleving van blootstellingslimieten.
- Computationele methoden: Het gebruik van numerieke simulaties om elektromagnetische veldverdelingen en hun interactie met menselijk weefsel te voorspellen. Deze methoden zorgen voor een grondige evaluatie van de menselijke blootstelling aan elektromagnetische velden van WPT-systemen.

Resultaten: Door toepassing van de voorgeschreven beoordelingsmethoden kunnen betrokken partijen:

- Nauwkeurig bepalen of WPT-systemen voldoen aan de veiligheidsrichtlijnen.
- Potentiële zones identificeren waar blootstelling de aanbevolen limieten kan overschrijden.
- Het ontwerp en de implementatie van WPT-systemen verbeteren om menselijke blootstelling te minimaliseren.
  Deze resultaten dragen bij aan een veilige integratie van WPT-technologie in diverse toepassingen.

Conclusies: De norm IEC/IEEE 63184:2025 biedt een solide kader voor het beoordelen van menselijke blootstelling aan elektrische en magnetische velden van WPT-systemen die werken tussen 3 kHz en 30 MHz. Door deze gestandaardiseerde methoden te volgen, kunnen fabrikanten, regelgevende instanties en onderzoekers ervoor zorgen dat WPT-systemen zowel effectief als veilig zijn voor gebruik

door het publiek. Deze norm speelt een cruciale rol in het begeleiden van de verantwoorde ontwikkeling en toepassing van WPT-technologieën.

Een kritische analyse van de systematische review van de wereldgezondheidsorganisatie (WHO) uit 2024 over blootstelling aan radiofrequente straling en kankerrisico's

Hardell L., Nilsson M.. A Critical Analysis of the World Health Organization (WHO) Systematic Review 2024 on Radiofrequency Radiation Exposure and Cancer Risks. *Journal of Cancer Science and Clinical Therapeutics* 9 (2025): 09-26.
https://doi.org/10.26502/jcsct.5079261

Achtergrond en methoden: Radiofrequente (RF) straling werd in 2011 door het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) geclassificeerd als mogelijk kankerverwekkend voor de mens. Momenteel voert de WHO een systematische review uit van menselijke studies over kankerrisico's. In een publicatie van Karipidis et al. (2024), in opdracht van de WHO, werd gesteld dat er op basis van alle beschikbare studies sprake zou zijn van "matig zekere evidentie" dat het gebruik van mobiele telefoons "waarschijnlijk het risico op glioom, meningeoom, akoestisch neuroom, hypofysetumoren en speekselkliertumoren bij volwassenen, of op pediatrische hersentumoren" niet verhoogt.
Echter, de auteurs van deze publicatie zijn van mening dat Karipidis et al. resultaten die verhoogde risico's aantonen negeerden voor hersentumoren bij de meest blootgestelde groepen, in het meest blootgestelde deel van het hoofd, en bij de langste latentietijd tussen eerste blootstelling en diagnose. Ook stelden de auteurs dat er "matig zekere evidentie" zou zijn dat zenders en mobiele telefoonantennes het risico op leukemie bij kinderen niet verhogen. Deze conclusies zijn gebaseerd op een selectieve opname van zeer weinig en laag-blootstellingsstudies. Deze WHO-evaluatie wordt tegengesproken door wetenschappelijke resultaten die verhoogde kankerrisico's aantonen door blootstelling aan RF-straling van mobiele en draadloze telefoons, zenders en basisstations. Andere wetenschappers concludeerden, na herziening van het beschikbare bewijs, dat RF-straling het risico op kanker mogelijk verhoogt.

Resultaten: Dit artikel analyseert de review van Karipidis et al. en wijst op meerdere fouten, omissies en belangenconflicten die de conclusie van geen verhoogd kankerrisico mogelijk verklaren.

Conclusies: Door de vastgestelde problemen met de oorspronkelijke review pleiten de auteurs van dit artikel voor terugtrekking ervan.

Opmerking: Dit artikel is opgenomen om aan te tonen dat wetenschappelijk bewijs geëvalueerd moet worden met een kritische blik. De oorspronkelijke review van Karipidis et al. werd opgenomen in het overzicht van Q3 2024, terwijl de review van Moon et al. (in dit artikel genoemd als tot een andere conclusie komend bij dezelfde onderzoeksvraag) werd opgenomen in het overzicht van Q4 2024. De tweede review die Karipidis et al. uitvoerden in opdracht van de WHO werd in dit overzicht opgenomen.

1.2.2 Gebruik van mobiele telefoons

Analyse van de associatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en gehoorverlies bij jongvolwassenen

Haji, A. I., Ejaz, H., Omar, M. O., Takriti, M. B., & Narayanan, S. N. (2025). Analysis of the Association of Mobile Phone Usage and Hearing Function in Young Adults. *Cureus*, *17*(2), e79403. https://doi.org/10.7759/cureus.79403

Achtergrond: De gezondheidseffecten van elektromagnetische straling met radiofrequente velden (RF-EMV), met name van 4G en 5G, zijn het onderwerp van recente discussies. De impact van deze technologie, vooral de niet-thermische biologische effecten op mensen en andere dieren, is grotendeels genegeerd en nog niet uitgebreid geëvalueerd. Miljarden mensen gebruiken deze technologie wereldwijd, waarvan een aanzienlijk deel adolescent is. Daarom zou zelfs een klein aantal nadelige gezondheidseffecten op lange termijn een groot volksgezondheidsprobleem vormen. De huidige studie werd opgezet om het verband te bepalen tussen langdurige, middellange en/of kortdurende blootstelling aan RF-EMV van mobiele telefoons en het gehoorvermogen bij kwetsbare bevolkingsgroepen zoals jongvolwassenen.

Methoden: Achtenzeventig jongvolwassenen (tussen 17 en 24 jaar) werden gerekruteerd na het verkrijgen van hun geïnformeerde toestemming. Eerst werd met een gevalideerde vragenlijst het telefoongebruik van de deelnemers in kaart gebracht. Vervolgens werden ze op basis van vooraf bepaalde criteria ingedeeld als langdurige, middellange of kortdurende gebruikers. Daarna werd hun gehoor getest met behulp van toonaudiometrie.

Resultaten: Van de 78 deelnemers waren er 40 (51,28%) mannelijk en 38 (48,71%) vrouwelijk. Vierenzestig deelnemers (82,05%) gaven aan dat hun rechteroor dominant was, en voor de overige 14 (17,95%) was dit het linkeroor. Vijfentwintig deelnemers (57,69%) gebruikten een 4G-telefoon, 32 (41,02%) een 5G-telefoon, en slechts één deelnemer (1,28%) gebruikte een 2G-telefoon. Vijfendertig deelnemers (57,69%) gebruikten de telefoon hoofdzakelijk om te sms'en, terwijl 33 (42,30%) de telefoon gebruikten om te bellen. Vierenvijftig deelnemers (69,23%) plaatsten de telefoon stevig tegen het oor tijdens bellen, terwijl 24 (30,76%) dat niet deden. Negenenvijftig deelnemers (75,64%) ervoeren geen ongemak tijdens bellen, maar 11 (14,10%) meldden hoofdpijn, één (1,28%) misselijkheid en zeven (8,97%) tinnitus.
Uit de audiometrie bleek milde tot matige gehoorverlies bij alle drie de gebruiksgroepen op frequenties van 250 Hz, 500 Hz en 1000 Hz. Dit verlies was merkbaar bij personen die hun telefoon langer dan 30 minuten per dag gedurende vijf jaar gebruikten, vergeleken met degenen die hun telefoon 30 minuten per dag gedurende vier jaar of minder dan drie jaar gebruikten. Dit patroon werd waargenomen in zowel het rechter- als het linkeroor. Oordominantie bleek geen significante rol te spelen bij het gehoorverlies. Wel werd er significant meer gehoorverlies vastgesteld bij gebruikers van 4G-telefoons in vergelijking met 5G-gebruikers op 250 Hz en 500 Hz, maar niet bij frequenties tussen 1000 Hz en 8000 Hz, vooral in het linkeroor. Bovendien werd ongeacht de gemiddelde belduur per dag gehoorverlies vastgesteld bij frequenties van 250–1000 Hz in beide oren, in vergelijking met andere frequenties.
Conclusies: Langdurig gebruik van mobiele telefoons leidde tot mild tot matig gehoorverlies bij frequenties van 250 Hz, 500 Hz en 1000 Hz. Oordominantie speelde geen significante rol in het gehoorverlies van de deelnemers. Wel werd significant gehoorverlies vastgesteld bij 4G-gebruikers in vergelijking met 5G-gebruikers bij 250 Hz en 500 Hz, maar niet bij andere frequenties. Verder onderzoek is nodig om deze resultaten te bevestigen en de effecten van RF-EMV op het gehoor bij kwetsbare groepen zoals jongvolwassenen beter te begrijpen.

1.2.3 Residentiële blootstelling

Beoordeling van blootstelling aan RF-EMF bij telecomtorenwerkers in Koeweit.

Al-Sadi, N., Shehab, M. & AlZoughool, M. Assessment of exposure to RF-EMF among telecommunication tower workers in Kuwait. *Discov Public Health* **22**, 64 (2025).
https://doi.org/10.1186/s12982-025-00450-8

Achtergrond: De telecommunicatie-industrie heeft wereldwijd geleid tot een toename van de teledichtheid, wat heeft geleid tot afhankelijkheid van draadloze technologieën zoals Wi-Fi, telefoongesprekken en signaaltransmissies. Deze studie onderzoekt de impact van elektromagnetische veldemissies van mobiele telefoonbasisstations op de blootstelling van werknemers aan niet-ioniserende straling in Koeweit.

Methoden: Er werd een cross-sectionele studie uitgevoerd met 127 werknemers die werkten op of nabij telecommunicatietorens in Koeweit. De stralingsblootstellingsniveaus werden gemeten over frequentiebanden van 900 tot 3700 MHz, wat GSM 2G tot 5G-technologieën omvat. De deelnemers werden gecategoriseerd op basis van hun beroepsrollen en werkervaring. Gegevens over gezondheidsbewustzijn en percepties van stralingsblootstelling werden ook verzameld.

Resultaten: Ondanks de strenge stralingsveiligheidsnormen van Koeweit, vastgesteld op 10 microwatt/cm² — 45 keer lager dan de door de ICNIRP aanbevolen limieten — blijven er misvattingen over stralingsblootstelling onder de werknemers bestaan.

Conclusies: De telecommunicatie-infrastructuur in Koeweit werkt goed binnen de veilige blootstellingslimieten. Er is echter behoefte aan meer veiligheidstraining en publieke bewustwordingscampagnes om misvattingen aan te pakken. Continue monitoring en educatie kunnen het welzijn van de werknemers waarborgen.

Ruimtelijke en temporele mapping van RF-blootstelling in een stedelijk centrum met behulp van een exposimeter en GIS.

Rufo-Pérez, M., Antolín-Salazar, A., Paniagua-Sánchez, J. M., Jiménez-Barco, A., & Rodríguez-Hernández, F. J. (2025). Spatial and Temporal Mapping of RF Exposure in an Urban Core Using Exposimeter and GIS. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *25*(5), 1301.
https://doi.org/10.3390/s25051301

Achtergrond: De snelle toename van draadloze communicatie-infrastructuur heeft de blootstelling aan radiofrequente (RF) straling in stedelijke gebieden verhoogd. Om de variabiliteit van RF-blootstelling te begrijpen, zowel ruimtelijk als temporeel, is het noodzakelijk om gedetailleerde metingen te verzamelen die de dynamiek van de blootstelling onder verschillende omstandigheden en locaties in stedelijke omgevingen vastleggen. Deze studie heeft als doel om een ruimtelijke en temporele kaart te maken van RF-blootstelling in een stedelijk kerngebied door gebruik te maken van een exposimeter in combinatie met geografische informatiesystemen (GIS).

Methoden: De studie werd uitgevoerd in een stedelijk centrum waar verschillende soorten RF-emissies van mobiele telefoons, draadloze netwerken en andere draadloze technologieën werden waargenomen. Er werden exposimeters gebruikt om de RF-blootstelling te meten op verschillende

tijdstippen van de dag en op verschillende locaties binnen het stadscentrum. De verzamelde gegevens werden gekoppeld aan een GIS-systeem om de ruimtelijke verspreiding van RF-blootstelling te visualiseren en tijdgebonden veranderingen in blootstellingsniveaus te identificeren.

Resultaten: De resultaten toonden aanzienlijke variaties in RF-blootstelling afhankelijk van de locatie binnen de stad, met hogere niveaus van blootstelling nabij grote telecommunicatietorens en drukke commerciële gebieden. De temporele variabiliteit liet ook fluctuerende blootstellingsniveaus zien, met pieken tijdens bepaalde uren van de dag, bijvoorbeeld tijdens werk- en piekuren, wanneer er meer mobiele communicatie plaatsvond.

Conclusies: De studie bevestigt dat RF-blootstelling in stedelijke omgevingen aanzienlijk varieert op basis van zowel ruimte als tijd. Het gebruik van exposimeters in combinatie met GIS biedt waardevolle inzichten in de dynamiek van blootstelling en kan helpen bij het ontwikkelen van gerichte beleidsmaatregelen en risicobeoordelingen voor de gezondheid in stedelijke gebieden. Verdere studies zijn nodig om de langetermijneffecten van deze variabele blootstelling te onderzoeken.

Exploreren van RF-EMF niveaus in Zwitserse micro-omgevingen: een evaluatie van omgevings- en auto-geïnduceerde downlink en uplink blootstelling in het tijdperk van 5G

Veludo, A. F., Stroobandt, B., Van Bladel, H., Sandoval-Diez, N., Guxens, M., Joseph, W., & Röösli, M. (2025). Exploring RF-EMF levels in Swiss microenvironments: An evaluation of environmental and auto-induced downlink and uplink exposure in the era of 5G. *Environmental research*, *266*, 120550. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120550

Achtergrond: Met de snelle uitrol van 5G-netwerken is het van cruciaal belang om de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF) in dagelijkse omgevingen te beoordelen. Eerdere studies hebben zich voornamelijk gericht op omgevingsblootstelling aan RF-EMF van basisstations, maar weinig hebben de bijdrage van persoonlijk apparaatgebruik onderzocht, met name in uplink (UL) en downlink (DL) transmissies. Deze studie introduceert een activiteit-gebaseerd micro-omgevingonderzoekprotocol om RF-EMF blootstelling in Zwitserland te meten in verschillende stedelijke en landelijke omgevingen.

Methoden: De studie werd uitgevoerd op vijf Zwitserse locaties met verschillende urbanisatiegraden. Onderzoekers gebruikten de ExpoM-RF 4 exposimeter om de RF-EMF blootstelling in drie scenario's te meten:

1. *Non-user scenario* (achtergrondblootstelling met apparaten in vliegtuigmodus),
2. *Max DL scenario* (simulatie van hoge data-download),
3. *Max UL scenario* (simulatie van hoge data-upload). Metingen werden verricht op openbare plekken, in woonwijken, transportknooppunten en in transitvoertuigen. Het apparaat registreerde blootstelling over 35 frequentiebanden, en registreerde bijdragen van uitzendingen, Wi-Fi en mobiele netwerken.

Resultaten: De RF-EMF-blootstellingsniveaus varieerden aanzienlijk tussen scenario's en omgevingen. In het non-user scenario werd de hoogste achtergrondblootstelling gemeten in stedelijke zakelijke gebieden, met een mediaan van 1,02 mW/m². Wanneer het max DL scenario werd toegepast, nam de blootstelling aanzienlijk toe, vooral in stedelijke gebieden, door 5G-transmissies op 3,5 GHz. Hier varieerden de medianen van de RF-EMF-niveaus van 3,20 tot 12,13 mW/m², wat de impact van beamforming-technologie op de blootstellingsniveaus aantoont. De meest significante stijging in RF-EMF blootstelling werd waargenomen in het max UL scenario, waar persoonlijke mobiele telefoon

transmissies een dominante rol speelden. In dit geval waren de blootstellingsniveaus het hoogst in landelijke micro-omgevingen, met medianen tussen 12,08 en 37,50 mW/m². Deze trend suggereert dat zwakkere netwerkdekking in landelijke gebieden mobiele apparaten dwingt om met hogere kracht te zenden, wat leidt tot verhoogde uplink-blootstelling.

Conclusies: Deze studie implementeerde met succes een activiteit-gebaseerd protocol voor het beoordelen van RF-EMF blootstelling. De bevindingen bevestigen dat persoonlijk mobiel telefoongebruik de blootstellingsniveaus aanzienlijk verhoogt, vooral in uplink-transmissie. Deze inzichten zijn waardevol voor epidemiologisch onderzoek, risicobeoordeling en gezondheidscommunicatie. Verdere studies in meerdere landen zijn gepland om het protocol te valideren en de blootstellingsvariabiliteit in verschillende regio's te beoordelen.

Vergelijkende analyse van blootstelling aan elektromagnetische velden in een hoger onderwijsinstelling: een studie voor en na de Covid-19 pandemie

Singh, R., Singh, A. & Jangid, A. Comparative analysis of electromagnetic field exposure in a higher educational institution: a study before and after the COVID-19 pandemic. *Discov Public Health* **22**, 90 (2025).
https://doi.org/10.1186/s12982-025-00484-y

Achtergrond: De vooruitgang en verbetering van de telecommunicatietechnologie heeft zorgen gewekt over de effecten van elektromagnetische (EM) straling op biologische systemen. De COVID-19-pandemie heeft geleid tot uitgebreid gebruik van smartphones en andere technologieën die zowel essentieel als onvermijdelijk waren. Dit heeft bovendien geleid tot overmatige blootstelling van mensen aan microgolfstraling van smartphones, met name jongeren die vroeg toegang hadden tot deze apparaten. In hoger onderwijsinstellingen, zoals het Dayalbagh Educational Institute (Dayalbagh, Agra, Uttar Pradesh, India), is de afhankelijkheid van draadloze communicatie tijdens de pandemie toegenomen.

Methoden: In dit onderzoek hebben de auteurs de SRM-3006 gebruikt om het elektrische veld, het magnetische veld en de vermogensdichtheid voor brede publieke blootstelling te evalueren en de resultaten te vergelijken met de veiligheidsnormen van ICNIRP en FCC. EMF-metingen werden uitgevoerd op meerdere locaties binnen de instelling op twee verschillende tijdstippen: voor en na de pandemie. De verzamelde gegevens werden geanalyseerd om variaties in blootstellingsniveaus te identificeren en de primaire bronnen van EMF-emissies te bepalen, zoals Wi-Fi-routers, mobiele apparaten en andere elektronische apparatuur.

Resultaten: De bevindingen tonen aanzienlijke veranderingen in de EMF-blootstellingsniveaus tussen de twee periodes. Metingen na de pandemie lieten een toename van de EMF-intensiteit in bepaalde gebieden zien, waarschijnlijk door het uitgebreide gebruik van draadloze communicatietechnologieën en een hogere dichtheid van aangesloten apparaten. In tegenstelling daarmee ervaarden sommige locaties een afname van de EMF-niveaus, mogelijk door veranderingen in de infrastructuur of verminderde bezettingspatronen. De studie benadrukt specifieke gebieden waar de EMF-blootstelling aanzienlijk is veranderd, wat wijst op een correlatie tussen institutionele aanpassingen en EMF-intensiteit.

Conclusies: De studie toont aan dat de COVID-19-pandemie een meetbare impact heeft gehad op de EMF-blootstelling binnen de onderwijsinstelling. De toegenomen afhankelijkheid van digitale hulpmiddelen, technologieën voor afstandsonderwijs en verbeterde draadloze connectiviteit heeft

bijgedragen aan hogere EMF-niveaus in bepaalde ruimtes. Deze bevindingen benadrukken het belang van het monitoren van EMF-blootstelling in onderwijsomgevingen en roepen op tot verder onderzoek naar de mogelijke gezondheidsimplicaties. Bovendien suggereert de studie dat instellingen EMF-blootstelling in hun planning en beleidsvorming moeten overwegen om een evenwichtige en veilige technologische infrastructuur te waarborgen.

1.2.4 Experimenteel onderzoek bij mensen

/

1.2.5 Algemene conclusie van dit kwartaal

In het eerste kwartaal van 2025 verschenen verschillende reviews over de gezondheidseffecten van RF-EMF. Sommige studies tonen lichte tot matige aanwijzingen voor effecten op gehoor (Haji et al.) en mannelijke vruchtbaarheid (Motchidlover et al.). Het overkoepelende bewijs blijft echter beperkt en vaak onzeker.
Grote systematische reviews vonden geen duidelijk verband tussen RF-EMF en een verhoogd risico op kanker (Karipidis et al.), maar benadrukken wel dat het beschikbare bewijs vaak van lage of zeer lage kwaliteit is. Ook zien we dat er onderzoekers zijn die zich verzetten tegen eerder gepubliceerde reviews wegens wat zij zien als ‘methodologische tekortkomingen’ (Hardell et al.).
Onderzoek naar blootstelling in leef- en werkomgevingen toont aan dat de gemeten niveaus over het algemeen onder de internationale veiligheidslimieten liggen, hoewel er variatie is afhankelijk van de omgeving, het gebruik, en de technologie (4G vs. 5G) (Al-Sadi et al., Veludo et al., Rufo-Pérez et al., Singh et al.). Het blijft dus belangrijk om ook in de toekomst deze blootstellingen te monitoren.

Referenties

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (2025). Gaps in Knowledge Relevant to the "ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz TO 300 GHz)". *Health physics*, *128*(2), 190–202. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001944

Karipidis, K., Baaken, D., Loney, T., Blettner, M., Mate, R., Brzozek, C., Elwood, M., Narh, C., Orsini, N., Röösli, M., Paulo, M. S., & Lagorio, S. (2025). The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies - Part II: Less researched outcomes. *Environment international*, *196*, 109274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109274

Motchidlover, L., Sari-Minodier, I., Sunyach, C., Metzler-Guillemain, C., & Perrin, J. (2025). Impact of non-ionising radiation of male fertility: a systematic review. *The French journal of urology*, *35*(1), 102800.
https://doi.org/10.1016/j.fjurol.2024.102800

"IEC/IEEE International Standard - Assessment methods of the human exposure to electric and magnetic fields from wireless power transfer systems - models, instrumentation, measurement and computational methods and procedures (frequency range of 3 kHz to 30 MHz)," in IEC/IEEE 63184:2025, pp.1-304, 25 Feb. 2025.

https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2025.10901988

Hardell L., Nilsson M.. A Critical Analysis of the World Health Organization (WHO) Systematic Review 2024 on Radiofrequency Radiation Exposure and Cancer Risks. *Journal of Cancer Science and Clinical Therapeutics* 9 (2025): 09-26.
https://doi.org/10.26502/jcsct.5079261

Haji, A. I., Ejaz, H., Omar, M. O., Takriti, M. B., & Narayanan, S. N. (2025). Analysis of the Association of Mobile Phone Usage and Hearing Function in Young Adults. *Cureus*, *17*(2), e79403. https://doi.org/10.7759/cureus.79403

Al-Sadi, N., Shehab, M. & AlZoughool, M. Assessment of exposure to RF-EMF among telecommunication tower workers in Kuwait. *Discov Public Health* **22**, 64 (2025).
https://doi.org/10.1186/s12982-025-00450-8

Rufo-Pérez, M., Antolín-Salazar, A., Paniagua-Sánchez, J. M., Jiménez-Barco, A., & Rodríguez-Hernández, F. J. (2025). Spatial and Temporal Mapping of RF Exposure in an Urban Core Using Exposimeter and GIS. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *25*(5), 1301.
https://doi.org/10.3390/s25051301

Veludo, A. F., Stroobandt, B., Van Bladel, H., Sandoval-Diez, N., Guxens, M., Joseph, W., & Röösli, M. (2025). Exploring RF-EMF levels in Swiss microenvironments: An evaluation of environmental and auto-induced downlink and uplink exposure in the era of 5G. *Environmental research*, *266*, 120550.
https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120550

Singh, R., Singh, A. & Jangid, A. Comparative analysis of electromagnetic field exposure in a higher educational institution: a study before and after the COVID-19 pandemic. *Discov Public Health* **22**, 90 (2025).
https://doi.org/10.1186/s12982-025-00484-y

2 TWEEDE TRIMESTER

2.1 EPIDEMIOLOGISCHE EN HUMAAN-EXPERIMENTELE STUDIES

2.1.1 Reviews

Effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op kanker bij laboratoriumdieren: een systematisch overzicht [Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies, a systematic review.]

Mevissen M, Ducray A, Ward JM, Kopp-Schneider A, McNamee JP, Wood AW, Rivero TM, Straif K. Environ Int. 2025 May;199:109482.
http://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109482

Meer dan tien jaar geleden publiceerde het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) een monografie waarin werd geconcludeerd dat er beperkt bewijs was voor kankerverwekkende eigenschappen van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) bij proefdieren.
Doelstelling: Het doel van deze review was om de effecten van blootstelling aan RF-EMV op kanker bij proefdieren systematisch te evalueren.
Geschiktheidscriteria: Op basis van vooraf vastgestelde criteria voor populaties, blootstellingen, vergelijkingsmiddelen, uitkomsten en onderzoekstypen (PECOS) werden studies bij proefdieren van de volgende onderzoekstypen opgenomen: chronische kankerbioassays, initiatie-(co-) promotiestudies en studies met tumorgevoelige dieren.

Informatie Bronnen: MEDLINE (PubMed), Science Citation Index Expanded and Emerging Sources Citation Index (Web of Science), en het EMF Portal. Data-abstractie en synthese: Gegevens zijn openbaar online beschikbaar als interactieve visualisaties met downloadbare metadata. De auteurs pasten het risico-op-bias (RoB) instrument, ontwikkeld door het Office of Health Assessment and Translation (OHAT), aan om rekening te houden met aspecten die relevant zijn voor de evaluatie van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) en kanker-bioassays. De gevoeligheid van de studies (study sensitivity) werd beoordeeld met een instrument afkomstig uit het Report on Carcinogens (RoC). De studies werden gesynthetiseerd via een narratieve benadering. De effectgrootte werd berekend als 1% van de Bayesiaanse gemiddelde benchmarkdosis (BMD) van de betreffende studie, wanneer een dosis-respons of trend werd vastgesteld (zie BMD-analyse in Supplementair Materiaal) (Supplement 1). Beoordeling van het bewijs: De zekerheid van het bewijs (Certainty of Evidence : CoE) werd beoordeeld volgens de GRADE-methodologie (Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations), zoals verfijnd door OHAT. Bewijs uit chronische kanker-bioassays werd beschouwd als het meest direct toepasbaar voor de evaluatie van kankerverwekkendheid.

De auteurs namen 52 studies op, waarvan 20 chronische bioassays. Geen enkele studie werd uitgesloten op basis van bezorgdheid i.v.m. risico op bias. De studies werden niet geschikt geacht voor een meta-analyse vanwege de heterogeniteit in studieopzet, diersoort, ras, geslacht, blootstellingskenmerken en kankeruitkomsten. In de meeste systemen of organen werd geen of slechts minimaal bewijs gevonden voor kankeruitkomsten gerelateerd aan blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV). Kankeruitkomsten omvatten kankers aan het gastro-intestinale/digestieve systeem, de nieren, melkklieren, urinewegen, endocriene systeem, het bewegingsapparaat, voortplantingsorganen en het gehoororgaan.

- Voor lymfoom (18 studies) kon voor 2 van de 6 langdurige bioassay studies (1.120 muizen, 1.780 ratten in de 6 studies) de inconsistentie niet plausibel worden verklaard. De zekerheid van het bewijs (CoE) voor lymfoom werd beoordeeld als matig.
- Voor hersentumoren (20 studies) werd in 2 van de 5 chronische bioassay studies (1.902 muizen, 6.011 ratten in de 5 studies) bij mannelijke ratten een toename van gliale cel-afgeleide neoplasma's gerapporteerd. De CoE voor een verhoogd risico op gliomen werd als hoog beoordeeld. De BMD-analyse was statistisch significant in slechts één studie, met een BMD van 4,25 (95% BI: 2,70–10,24).
- Voor neoplasma's van het hart (4 chronische bioassays met 6 experimenten), werden 3 studies uitgevoerd bij ratten (±2.165 dieren) en 1 bij muizen (±720 dieren). Op basis van 2 bioassays werd een statistisch significante toename van kwaadaardige schwannomen vastgesteld, wat leidde tot een hoge CoE voor een toename van hartschwannomen bij mannelijke ratten. De BMD's van de twee positieve studies waren respectievelijk 1,92 (95% BI: 0,71–4,15) en 0,177 (95% BI: 0,125–0,241).
- Twaalf studies rapporteerden neoplasma's in de bijnier (5 chronische bioassays). De CoE voor een verhoogd risico op feochromocytoom werd als matig beoordeeld. Geen van deze

bevindingen was dosisafhankelijk in vergelijking met de controlegroep zonder blootstelling (*sham* exposure).

- Zestien studies onderzochten levertumoren, waarvan 5 chronische bioassays. De CoE werd als matig beoordeeld voor hepatoblastomen.
- Voor neoplasma's van de long (3 chronische bioassays), werden 8 studies uitgevoerd bij ratten (±1.296 dieren) en 23 bij muizen (±2.800 dieren). In één chronische bioassay werd een statistisch significante positieve trend gerapporteerd voor bronchoalveolair adenoom of carcinoom (samen), wat leidde tot een matige CoE voor een toename van longneoplasma's, met aanvullend bewijs uit 2 initiatie-(co-)promotiestudies.

Een meta-analyse op basis van de geselecteerde studies werd als ongepast beschouwd vanwege de heterogeniteit in de gebruikte onderzoeksmethoden. Het GRADE/OHAT CoE-raamwerk is tot op heden zelden toegepast op dierstudies, en de opgedane ervaring wijst erop dat verdere aanpassingen nodig zijn. De auteurs verwezen naar standaardmethoden binnen de milieugezondheid, waarbij de zekerheid van het bewijs (CoE) wordt geïnterpreteerd in termen van de sterkte van het bewijs dat positief bijdraagt aan de beoordeling van kankerverwekkendheid. Een hoge CoE kan worden geïnterpreteerd als een sterke waarschijnlijkheid dat het waargenomen verband het werkelijke effect weerspiegelt. Een matige CoE duidt erop dat het werkelijke effect mogelijk wordt weerspiegeld in het waargenomen verband. Kanker-bioassays uitgevoerd bij proefdieren worden vaak gebruikt om potentiële humane kankerverwekkende stoffen te identificeren. Opmerkelijk is dat de twee tumortypes met een hoge CoE bij dieren in deze systematische review dezelfde zijn als die waarvoor het IARC-werkgroep slechts beperkt bewijs bij mensen heeft vastgesteld. Toch blijft de extrapolatie van risico's van dierlijke kanker-bioassays naar mensen bijzonder complex in het geval van RF-EMV. Zonder beter inzicht in het mechanisme achter de kankerverwekkendheid van RF-EMV, zijn de gemaakte keuzes van cruciaal belang, bvb. het type meting van blootstelling (gehele lichaam versus lokale blootstelling), de intensiteit of cumulatieve blootstelling, de vraag of een monotone dosis-responsrelatie geldt voor kankereffecten, en of SAR (specifieke absorptiesnelheid) de juiste dosismaat is voor schadelijke effecten veroorzaakt door RF-EMV.

Elektromagnetische velden van mobiele telefoons: een risico voor het behoud van de energiehomeostase? [Electromagnetic fields from mobile phones: A risk for maintaining energy homeostasis?]

Seewooruttun C, Mai TC, Corona A, Delanaud S, Seze R, Bach V, Desailloud R, Pelletier A. Ann Endocrinol (Paris). 2025 Jun;86(3):101782.
https://doi.org/10.1016/j.ando.2025.101782

Overal ter wereld is er een bijna alomtegenwoordige aanwezigheid van laagintensieve radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF), als gevolg van telecommunicatie zoals mobiele telefoons. De snelle verspreiding hiervan zorgt voor een bezorgdheid over mogelijke interactie met biologische mechanismen. De veiligheidsrichtlijnen voor RF-EMF raden limieten aan ter bescherming tegen thermische opwarming, wat het meest erkende effect is bij hoge intensiteitsniveaus met een bekend biofysisch mechanisme. Van alle onderzochte effecten is de impact van blootstelling aan RF-EMF op thermoregulatie één van de belangrijkste aspecten van dit onderzoek. Deze literatuurstudie heeft tot doel de complexe relatie tussen blootstelling aan RF-EMF en thermoregulatie te bestuderen, en dit bij intensiteitsniveaus lager dan de drempelwaarde voor het optreden van thermische effecten. De meeste studies toonden namelijk aan dat blootstelling aan RF-EMF bij 900 MHz fysiologische en biologische effecten lijkt te veroorzaken die vergelijkbaar zijn met reacties die worden opgewekt door koude omgevingen in twee verschillende knaagdiermodellen. In deze korte literatuurstudie beschrijven de auteurs de effecten en onderliggende mechanismen die worden veroorzaakt door

blootstelling aan RF-EMF bij lage niveaus en bespreken ze de mogelijke implicaties voor milieugezondheid en milieuveiligheid.

Een alomvattend mechanisme van biologische en gezondheidseffecten van antropogene extreem lage frequentie en draadloze communicatie elektromagnetische velden [A comprehensive mechanism of biological and health effects of anthropogenic extremely low frequency and wireless communication electromagnetic fields.]
Panagopoulos DJ, Yakymenko I, De Iuliis GN, Chrousos GP. Front Public Health. 2025 Jun 4;13:1585441.
https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1585441

De blootstelling aan antropogene elektromagnetische velden (EMV's), met name die van draadloze communicatie (WC), is enorm toegenomen. Dit is een niet eerder voorgekomen fenomeen in de biologische evolutie, aangezien alle antropogene EMV's - die volledig gepolariseerd en coherent zijn, en met name WC-EMV's, die zeer variabel zijn - sterk verschillen van de natuurlijke EMV's. WC-EMV's bestaan uit microgolf (MW) draaggolven, gemoduleerd door extreem lage frequentie (ELF) signalen, en verwerkt in aan/uit-pulsen die met verschillende ELF-frequenties worden herhaald. Bovendien vertonen ze een intense willekeurige variabiliteit, voornamelijk in de ultralage frequentieband (ULF). WC-EMV's zijn dus een combinatie van MW- en ELF/ULF-EMV's. De combinatie van polarisatie/coherentie en intense laagfrequente (ELF/ULF) variabiliteit lijkt de sleutel te zijn tot EMF-bioactiviteit. Epidemiologische en laboratoriumstudies wijzen op een verband tussen blootstelling aan ELF- of WC-EMV's en kanker, onvruchtbaarheid, elektrohypersensitiviteit en diverse andere pathologieën. Studies tonen ook DNA-schade en oxidatieve stress (OS) aan, wat deze pathologieën verklaart. Hoewel door de mens veroorzaakte EMV’s niet rechtstreeks moleculen kunnen ioniseren, kunnen ze dit wel indirect doen in biologisch weefsel, door de biosynthese van reactieve zuurstofspecies (ROS) te activeren, die biomoleculen, waaronder DNA, kunnen beschadigen. De (over)productie van ROS en de daaruit voortvloeiende OS worden veroorzaakt door onregelmatige gating van spanningsafhankelijke ionentransport (VGIC's) in de celmembranen, zoals beschreven door het Ion Forced Oscillation (IFO)-VGIC-mechanisme: Mobiele ionen binnen VGIC's die door de toegepaste ELF/ULF EMV's worden gedwongen te oscilleren, oefenen krachten uit op de spanningssensoren van de VGIC's, vergelijkbaar met of groter dan de krachten die deze kanalen fysiologisch openen, wat resulteert in hun onregelmatige opening (disfunctie). Disfunctie van ionentransport verstoort de intracellulaire ionenconcentraties. Dit veroorzaakt overproductie van ROS en OS door de ROS-genererende systemen/enzymen in de cellen, zoals de elektronentransportketen (ETC) in de mitochondriën, of de NADPH/NADH-oxidasen (NOX's), de stikstofmonoxide-synthasen (NOS), enz. Het IFO-VGIC-mechanisme en de daaruit voortvloeiende OS vormen een uitgebreid mechanisme dat alle bekende nadelige biologische en gezondheidseffecten verklaart die naar verluidt worden veroorzaakt door antropogene EMV's.

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en IARC-beoordeling van carcinogenen: risico op vertekening voorlopige literatuurbeoordeling voor 10 sleuteleigenschappen van carcinogenen voor de mens.
[Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and IARC carcinogen assessment: Risk of Bias preliminary literature assessment for 10 key characteristics of human carcinogens.]
Simkó M, Repacholi MH, Foster KR, Mattsson MO, Croft RJ, Scarfi MR, Vijayalaxmi. Mutat Res Rev Mutat Res. 2025 May 27;796:108545.
https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2025.108545

Dit is de eerste studie van het bestaande bewijs om te bepalen of blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) onder de niveaus die worden aanbevolen in de ICNIRP-

richtlijnen (2020) invloed kan hebben op een van de tien belangrijkste kenmerken (KC's) van menselijke carcinogenen die zijn ontwikkeld door het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC). De auteurs definiëren de 10 KC's en hun relevantie voor carcinogenese, beoordelen in vivo- en in vitro-studies die relevant zijn voor de KC's en voeren een risico op vertekening (RoB)-analyse uit aan de hand van 6 criteria. Ze hebben geen KC-studies over genotoxiciteit of oxidatieve stress opgenomen, aangezien Romeo et al. (2024) en Meyer et al. (2024) onlangs hierover reeds systematische reviews hebben gepubliceerd, maar nemen wel nota van hun respectieve conclusies. Uit de andere 8 KC's identificeerden de auteurs 119 in vitro en 40 in vitro metingen van in vivo studies tot en met 30 juni 2023, waarbij 38 % statistisch significante effecten van blootstelling rapporteerde. Zij constateerden een sterk verband tussen de kwaliteit van de studie en het resultaat, waarbij studies die aan meer RoB-criteria voldeden, minder vaak statistisch significante effecten rapporteerden. Er werden effecten gemeld over het gehele frequentiebereik, blootstellingsniveaus en biologische eindpunten, zonder dat er een duidelijk patroon te zien was in de blootstellingsparameters die tot effecten leidden. Alleen KC10 (verandert celproliferatie, celdood of nutriëntenvoorziening) heeft voldoende studies om te analyseren, maar de andere KC's hadden weinig studies en diverse eindpunten. Enkele relatief hoogwaardige positieve studies moeten worden opgevolgd door aanvullende gerichte studies. De heterogeniteit en de doorgaans slechte kwaliteit van de studies wijzen op de noodzaak van hoogwaardige studies naar deze eindpunten, bij voorkeur volgens normen zoals die van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling.

2.1.2 Neoplastische ziekten

In vivo studies

/

In vitro studies

/

(Anti-)Genotoxicity studies

/

2.1.3 Effecten op het zenuwstelsel en neurologische aandoeningen

In vivo studies

Effecten van radiofrequente velden van 2100 MHz op hersenweefsel en plasma van normale ratten en zwaarlijvige ratten [Effects of 2100 MHz radio-frequency fields on brain tissues and plasma of normal rats and obese rats.]

Günay S, Delen K, Özkan ET, Kuzay Aksoy D, Sırav Aral B. Electromagn Biol Med. 2025 Jun 5:1-7.
https://doi.org/10.1080/15368378.2025.2513903

Er is een stijgend gebruik van mobiele telefoons, op dit moment een van de meest populaire bronnen van radiofrequente velden (RFF). Er is aangetoond dat blootstelling aan RFF het niveau van vrije radicalen en oxidatieve stress kan verhogen. Obesitas is een belangrijke risicofactor voor veel ziekten, zoals kanker, hart- en vaatziekten en diabetes, en er is aangetoond dat oxidatieve stress toeneemt. In dit onderzoek werden ratten blootgesteld aan 2100 MHz RFF (elektrisch veld 15 V/m) gedurende 15 minuten per dag en 4 uur per dag gedurende 3 weken. Het doel was om de effecten van 2100 MHz RFF op hersenweefsel en plasma van normale en zwaarlijvige ratten te onderzoeken. De ratten werden verdeeld in acht groepen (n = 6): controle, Sham1, Sham2, RFF1, RFF2, Hoog Vet Dieet (HFD),

Sham+HFD, en HFD+RFF. De ontstekings- en oxidatieve effecten op hersenweefsel en plasma werden geanalyseerd met het GraphPad 9 macOS pakketprogramma. Toen de TOS-niveaus in hersenweefsel werden vergeleken tussen Sham2 en RFF1 en alle groepen, werd een significant verschil gevonden in de RFF2-groep. Het TAS-niveau was significant verschillend in de HDF+RFF-groep vergeleken met de controlegroep, Sham en alle groepen. Toen pro-inflammatoire en anti-inflammatoire parameters werden geëvalueerd in hersenweefsel, werden significante verschillen gevonden in verschillende blootstellingsgroepen. In plasma waren TOS-niveaus significant verschillend in de RFF2-groep vergeleken met Sham2 en RFF1, maar TAS-niveaus waren niet verschillend. Volgens de verkregen gegevens kan obesitas beschermend zijn tegen de oxidatieve en inflammatoire effecten van RFF.

In vitro studies

/

2.1.4 Reproductieve en ontwikkelingseffecten

In vivo studies

De invloed van wifi op de mesonefros in het 9 dagen oude kippenembryo [The influence of Wi-Fi on the mesonephros in the 9-day-old chicken embryo.]

Almášiová V, Andrašková S, Karaffová V, Hudáková P, Molnár J, Tóth Š, Holovská K. Vet Res Commun. 2025 Jun 10;49(4):216.
https://doi.org/10.1007/s11259-025-10777-x

Het gebruik van draadloze apparaten is de laatste tijd snel toegenomen, vooral in ontwikkelde landen. Als gevolg daarvan worden alle levende systemen in zekere mate permanent blootgesteld aan kunstmatige elektromagnetische niet-ioniserende straling (NIR). Deze moderne apparaten bieden talloze voordelen voor de gebruikers, maar het nadeel van overmatig gebruik ervan is de productie van elektrosmog. Deze fysieke vervuiling van het milieu kan bijzonder gevaarlijk zijn, vooral tijdens de ontwikkelingsperiode van het individu. Het doel van de huidige studie was om het effect van wifi-straling op de ontwikkeling van de mesonephros in het kippenembryo op dag 9 van de incubatie te verduidelijken. Langdurige blootstelling gedurende 9 dagen aan straling met een frequentie van 2,4 GHz en een vermogensdichtheid van 200-500 µW/m2 had geen nadelig effect op de algemene ontwikkeling van de mesonephros, maar er werden wel matige diffuse degeneratieve veranderingen aangetroffen in de zich ontwikkelende mesonephrische corpuscles en tubuli. Ook waren er verstopte bloedvaten aanwezig in het omliggende interstitium, maar er werden geen tekenen van inflammatoire infiltratie gedetecteerd. De auteurs detecteerden in de wifi-groep ook een significant toegenomen aantal apoptotische en prolifererende cellen, evenals een significante upregulatie van de caspase-1-genexpressie. De resultaten gaven aan dat niet-ioniserende straling met de frequentie en vermogensdichtheid die in het onderzoek werden gebruikt, een verstoring kan veroorzaken bij de regulerende mechanismen die een rol spelen bij de normale ontwikkeling van weefsels en organen.

In vitro studies

/

2.1.5 Andere effecten

In vivo studies

Effecten van 5G-radiofrequentie-elektromagnetische velden op het menselijke elektro-encefalogram tijdens slaap: een gerandomiseerde gecontroleerde studie bij vrijwilligers met CACNA1C-genotypering [5G radio-frequency-electromagnetic-field effects on the human sleep electroencephalogram: A randomized controlled study in CACNA1C genotyped volunteers.]
Sousouri G, Eicher C, D'Angelo RM, Billecocq M, Fussinger T, Studler M, Capstick M, Kuster N, Achermann P, Huber R, Landolt HP. Neuroimage. 2025 Jun 18;317:121340.
https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121340

De introductie van 5G-technologie als de nieuwste standaard in mobiele telecommunicatie introduceert eveneens bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten ervan. Eerdere studies naar eerdere generaties radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) toonden een smalbandige spectrale toename aan in het elektro-encefalografische (EEG) spindelfrequentiebereik (11-16 Hz) tijdens de niet-snelle-oogbewegingsslaap (NREM). De invloed van 5G RF-EMF op de slaap is echter nog niet onderzocht. Bovendien kan RF-EMF l-type spanningsafhankelijke calciumkanalen (LTCC) activeren, die in verband staan met de slaapkwaliteit en EEG-oscillatieactiviteit.
Deze studie onderzoekt of de allelvariant rs7304986 in het CACNA1C-gen, dat codeert voor de α1C-subeenheid van LTCC, de effecten van 5G RF-EMV op de EEG-spindelactiviteit in NREM-slaap moduleert. Vierendertig deelnemers, genotypeerd voor rs7304986 (15 T/C- en 19 gematchte T/T-dragers), ondergingen een dubbelblind, sham-gecontroleerd onderzoek met gestandaardiseerde blootstelling van de linkerhersenhelft aan twee 5G RF-EMF-signalen (3,6 GHz en 700 MHz) gedurende 30 minuten vóór het slapengaan. De slaapspindelactiviteit werd geanalyseerd met behulp van high-density EEG en het Fitting Oscillations & One Over f (FOOOF)-algoritme. T/C-dragers rapporteerden een langere slaaplatentie in vergelijking met T/T-dragers. Er werd een significante interactie waargenomen tussen blootstelling aan RF-EMF en het rs7304986-genotype, waarbij alleen blootstelling aan 3,6 GHz bij T/C-dragers een snellere spindelcentrumfrequentie in de centrale, pariëtale en occipitale cortex induceerde in vergelijking met schijnblootstelling. Deze bevindingen suggereren dat 3,6 GHz 5G RF-EMF de spindelcentrumfrequentie in de NREM-slaap moduleert op een CACNA1C-genotype-afhankelijke manier, wat LTCC impliceert in de fysiologische reactie op RF-EMF en de noodzaak onderlijnt van verder onderzoek naar de effecten van 5G op de gezondheid van de hersenen.

Impact van niet-ioniserende elektromagnetische straling van mobiele telefoons op de functie van de oorspeekselklier: een uitgebreid onderzoek [Impact of mobile phone-emitted non-ionizing electromagnetic radiation on parotid gland function: A comprehensive study.]
Jacob RA, Jose M, Pai VR, Kalal BS. Int J Risk Saf Med. 2025 May 12:9246479251342488.
https://doi.org/10.1177/09246479251342488

De snelle verspreiding van mobiele technologie heeft het debat aangewakkerd over de mogelijke schadelijke effecten van niet-ioniserende elektromagnetische straling (NIER) van mobiele telefoons op verschillende menselijke organen en cellen. Deze studie had tot doel de impact van door mobiele telefoons uitgezonden NIER op de functie van de oorspeekselklier te evalueren. Deze transversale

studie omvatte 104 vrijwillige studenten van de universiteitscampus, ingedeeld op basis van hun mobiele telefoongebruik en blootstellingsduur. Er werden speekselmonsters genomen van de dominante (test) en niet-dominante (controle) zijde. De belangrijkste gemeten parameters waren de speekselstroomsnelheid, pH, albumine, ischemie-gemodificeerd albumine (IMA) en de IMA/albumine-verhouding (IMAR). De gegevensanalyse werd uitgevoerd met behulp van een eenzijdige ANOVA en Fisher's LSD meervoudige vergelijkingen, waarbij $p \leq 0,05$ als statistisch significant werd beschouwd. De speekselstroomsnelheid en pH waren aan beide kanten hoger in alle groepen, wat correleerde met een langere gebruiksduur van mobiele telefoons. Hoewel de albuminewaarden aan de dominante kant lager waren, namen ze toe naarmate het gebruik van mobiele telefoons langer duurde. Speeksel-IMA en IMAR waren hoger aan de dominante kant bij proefpersonen die ≤3 jaar mobiele telefoons gebruikten in vergelijking met degenen die ze >3 jaar gebruikten. Constante blootstelling aan NIER en de warmte die door mobiele telefoons wordt gegenereerd, heeft een negatief effect op de functie van de parotis, zoals blijkt uit een verhoogde speekselstroom, pH en veranderde albumine-, IMA- en IMAR-waarden. Aanbevelingen op het gebied van de volksgezondheid moeten het verminderen van langdurige gesprekken en het gebruik van oortelefoons aanmoedigen om de blootstelling aan NIER tot een minimum te beperken. Er is verder onderzoek nodig om de langetermijneffecten van NIER op de functie van de parotis te evalueren.

Histologische en inflammatoire effecten van blootstelling aan 26,5 GHz quasi-millimetergolven op de huid van ratten [Histological and inflammatory effects of 26.5 GHz quasi-millimeter wave exposure on rat skin.]

Ijima E, Nagai A, Li K, Hikage T, Kamizawa N, Hidaka E, Tsuruta Y, Ishitake T, Masuda H. Front Public Health. 2025 Jun 16;13:1580155.
https://doi.org//10.3389/fpubh.2025.1580155

Er is maar weinig onderzoek gedaan naar de biologische effecten van lokale blootstelling aan quasi-millimetergolven (qMMW). Aangezien blootstelling aan qMMW de huidtemperatuur kan verhogen en mogelijk thermische schade kan veroorzaken, is verder onderzoek nodig. Het doel van deze studie is om histologische veranderingen en de expressie van ontstekingsgerelateerde markers in rattenhuidweefsel dat lokaal is blootgesteld aan 26,5 GHz qMMW te evalueren en om de drempel voor ontstekingsreacties te onderzoeken.
De dorsale huid van ratten werd gedurende 18 minuten lokaal blootgesteld aan 26,5 GHz qMMW bij geabsorbeerde vermogensdichtheden (APD) van 0, 250, 370 en 500 W/m2 met behulp van een patch-antenne. Histologische veranderingen en expressiepatronen van ontstekingsgerelateerde markers werden onderzocht in huidweefselcoupes die waren blootgesteld aan qMMW. Verder werden de serumspiegels van prostaglandine E2 (PGE2), tumornecrosefactor-α (TNF-α) en interleukine-6 (IL-6) gemeten op elk tijdstip na blootstelling.
Histologische analyse bracht brandwondachtige weefselschade aan het licht in de groep die werd blootgesteld aan 500 W/m2, gekenmerkt door subepidermale blaarvorming, epidermale verdikking en dermaal oedeem, die doorheen de tijd in ernst toenamen. Anderzijds vertoonden de groepen met een lagere blootstelling (250 en 370 W/m2) geen duidelijke morfologische veranderingen, vergelijkbaar met de schijnbehandelinggroep. De 500 W/m2-groep vertoonde een significant verhoogde expressie van induceerbare stikstofmonoxide-synthase (iNOS) en geïoniseerd calcium-bindend adaptermolecuul 1 (Iba1), met name in de dermis, het witte onderhuidse vetweefsel en de talgklieren. De serumspiegels van PGE2 namen op een dosisafhankelijke manier toe na 24 en 72 uur; TNF-α en IL-6 bleven niet detecteerbaar. De huidtemperatuur steeg tijdens blootstelling aan qMMW en bereikte 39,0 ± 0,6 °C, 42,4 ± 0,9 °C en 44,8 ± 1,2 °C bij APD's van respectievelijk 250, 370 en 500 W/m2.
Lokale blootstelling van de huid van ratten aan qMMW veroorzaakt brandwondachtige weefseldegeneratie en triggert een ontstekingsreactie. Dit effect kan thermisch worden veroorzaakt

door qMMW-straling, met een drempelwaarde die onder de huidige experimentele omstandigheden wordt geschat op 370 tot 500 W/m2 APD. Er zijn maar weinig studies die door MMW veroorzaakte ontstekingsreacties in de huid hebben aangetoond. Voor zover de auteur weet, is dit de eerste studie waarin de drempelwaarde duidelijk wordt gedefinieerd met behulp van APD als referentie. Deze bevindingen kunnen nuttig bijdragen aan toekomstige herzieningen van blootstellingsrichtlijnen.

In vitro studies

5G-blootgestelde menselijke huidcellen reageren niet met veranderde genexpressie en methyleringsprofielen [5G-exposed human skin cells do not respond with altered gene expression and methylation profiles.]
Jyoti J, Gronau I, Cakir E, Hütt MT, Lerchl A, Meyer V. PNAS Nexus. 2025 May 13;4(5):pgaf127.
https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgaf127

Vanwege de steeds toenemende hoeveelheid draadloos verzonden gegevens is de ontwikkeling van nieuwe transmissienormen en hogere frequenties in de 5G-band noodzakelijk. Ondanks fundamentele biofysische overwegingen die gezondheidseffecten tegenspreken, bestaat er bij het publiek bezorgdheid over deze technologie. Omdat de penetratiediepte van de huid bij deze frequenties slechts 1 mm of minder bedraagt, hebben de auteurs fibroblasten en keratinocyten blootgesteld aan elektromagnetische velden tot tien keer de toegestane limieten, gedurende 2 en 48 uur in een volledig geblindeerd experimenteel ontwerp. Sham-blootgestelde cellen dienden als negatieve controles en UV-blootgestelde cellen als positieve controles. De verschillen in genexpressie en methylering als gevolg van blootstelling waren klein en niet groter dan op basis van toeval te verwachten was. Deze gegevens ondersteunen sterk de conclusie dat er geen bewijs is voor door blootstelling veroorzaakte schade aan menselijke huidcellen.

2.1.6 Algemene conclusies van dit trimester

Dit rapport bestaat uit 4 reviews en 6 experimentele studies over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV). De volledige tekst van 2 experimentele studies (Günay et al., Jacob et al.) kon niet worden teruggevonden. Daarom kon de kwaliteit van deze studies niet worden beoordeeld, maar deze artikelen zijn voor de volledigheid toch in dit rapport opgenomen.

Mevissen et al. hebben een systematische review uitgevoerd van experimenteel onderzoek naar de effecten van RF-EMV blootstelling op kanker bij proefdieren geëvalueerd. Deze studie maakt deel uit van een lopend project onder leiding van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) dat tot doel heeft de gezondheidseffecten van RF-EMV blootstelling te evalueren. De auteurs hebben 52 studies in hun systematische review opgenomen. Hun resultaten toonden een hoge mate van zekerheid aan voor een verhoogde incidentie van kanker in de hersenen (glioom) en het hart (schwannoma), evenals een matige zekerheid voor lymfoom en kanker in de bijnier, longen en lever. Deze resultaten zijn echter niet gebaseerd op een meta-analyse, maar op significante resultaten die een toename van de incidentie van kanker of een trend laten zien. Bovendien zijn de resultaten voor hersen- en hartkanker grotendeels gebaseerd op twee studies, Falcioni et al. (2018) en NTP (2018), die in eerdere rapporten van Sciensano een kritische beoordeling hebben gekregen. Er werden methodologische tekortkomingen vastgesteld (bv. blootstellingssysteem en karakterisering, ontbrekende informatie over het onderzoek door onderzoekers/biochemische tests, gebrek aan temperatuurcontrole, enz.), evenals onverklaarbare of inconsistente resultaten (bv. lagere overleving bij controledieren, effecten

alleen bij mannetjes of alleen bij vrouwtjes geobserveerd, enz.). Bovendien werd voor geen enkel domein een downgrade toegepast (onverklaarbare inconsistentie, indirectheid...) en de auteurs pasten een upgrade toe op basis van de gerapporteerde dosis-respons (NTP et al. en Falconi et al.).

Als conclusie stellen de auteurs zich voorzichtig op, bij gebrek aan een onderliggend mechanisme dat het verhoogde risico voor bepaalde soorten kanker, en plaatsen zij vraagtekens bij de keuze van relevante blootstellingsparameters. Bovendien erkennen zij dat de resultaten van dierstudies niet rechtstreeks kunnen worden vertaald naar mensen. Andere systematische reviews van de WHO over studies bij mensen hebben geen verband aangetoond tussen blootstelling aan RF-EMV en kanker (Karipidis et al.[1,2]).

In een tweede review onderzochten Seewooruttun et al. de effecten van blootstelling aan RF-EMV op thermoregulatie en de onderliggende mechanismen. Hun resultaten toonden een verband aan tussen blootstelling aan 900 MHz RF-EMV en koudegevoel bij knaagdieren, wat door verschillende mechanismen werd verklaard. Ondanks dit aangetoond effect op koudegevoel stellen de auteurs echter dat kortdurende blootstelling aan 900 MHz RF-EMV geen nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid. Hoewel deze studie een narratieve eerder dan een systematische review is, geven de auteurs een gedegen beeld van de bestaande literatuur over de effecten van EMV-RF op thermoregulatie. Ze gebruiken hun bevindingen ook om fundamentele vragen te stellen over de mogelijke langetermijneffecten en het vroege gebruik van draadloze apparaten door jonge kinderen, wat de noodzaak van verder onderzoek benadrukt.

Een derde review studie, uitgevoerd door Panagopoulos et al., wees uit dat blootstelling aan RF-EMV de productie van reactieve zuurstofspecies (ROS) verhoogt, wat op zijn beurt oxidatieve stress verhoogt en DNA-schade veroorzaakt. Volgens de auteurs is de productie van ROS het gevolg van Ions Forced Oscillation-VGIC's, en leidt dit uiteindelijk tot nadelige gezondheidseffecten zoals kanker en onvruchtbaarheid. Dit onderzoek is een narratief onderzoek, geen systematisch onderzoek. De auteurs namen resultaten op uit de studies van NTP en Falcioni et al., die hierboven in dit rapport zijn besproken. Bovendien is het zorgwekkend dat zij alle soorten studies (experimentele en epidemiologische ontwerpen) en zowel ELF-EMV als EMV-RF in één enkele review hebben opgenomen. De effecten van EMV moeten worden bekeken op basis van hun specifieke bereik, aangezien elk bereik verschillende kenmerken en mogelijk (nadelige) effecten heeft. Bovendien hebben de auteurs in hun beoordeling van experimentele studies geen kwaliteitscriteria toegepast. Daarom moeten de conclusies van dit manuscript met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

In de vierde review beoordeelden Simkó *et al.* experimentele studies naar de effecten van blootstelling aan EMV-RF op acht van de tien belangrijkste kenmerken van carcinogenese bij de mens, zoals ontwikkeld door de WHO (bijv. genotoxiciteit, verandering van DNA-herstel of oorzaken van genomische instabiliteit, enz. Zij hebben de kwaliteit van de studies die zij uit de wetenschappelijke literatuur hebben gehaald, geëvalueerd, rekening houdend met belangrijke criteria, zoals het gebruik van een schijncontrole, temperatuurcontrole, blindering of passende dosimetrie. Slechts enkele

[1] Karipidis, K., Baaken, D., Loney, T., Blettner, M., Brzozek, C., Elwood, M., Narh, C., Orsini, N., Röösli, M., Paulo, M. S., & Lagorio, S. (2024). The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies – Part I: Most researched outcomes. *Environment International*, *191*, 108983. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108983

[2] Karipidis, K., Baaken, D., Loney, T., Blettner, M., Mate, R., Brzozek, C., Elwood, M., Narh, C., Orsini, N., Röösli, M., Paulo, M. S., & Lagorio, S. (2025). The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies – Part II: Less researched outcomes. *Environment International*, *196*, 109274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109274

studies waren van goede kwaliteit, waarvan de meeste geen effect aantoonden. Over het geheel genomen waren de beschikbare studies te heterogeen en van een lage kwaliteit, waardoor de auteurs geen duidelijke conclusies konden trekken. Daarom roepen zij op tot verder onderzoek en verbetering van de kwaliteit van de studies.

Twee van de experimentele studies die in dit rapport worden gepresenteerd, hadden tekortkomingen in hun opzet. Deze studies verstrekten geen adequate informatie over de dosimetrie (Almášiová et al., Ijima et al.). In één studie gaven de auteurs onvoldoende details over het blootstellingssysteem (Almášiová et al.). Bovendien blijft het in de studie van Almášiová *et al.* onduidelijk of de opzet van de controlegroep geschikt was. Deze auteurs vermeldden eveneens niet duidelijk het gebruik van een schijnblootstellingsgroep tijdens hun experimenten en voerden hun experiment niet uit onder geblindeerde omstandigheden (Almášiová et al.). Bovendien hebben zij de temperatuur niet opgevolgd. In de studie van Ijima et al. werden geen relevante blootstellingsniveaus gebruikt. Bovendien werd een temperatuurstijging waargenomen. Daarom kunnen we niet uitsluiten dat de waargenomen resultaten het gevolg zijn van thermische effecten.

De studie van Sousouri et al. voldoet aan alle kwaliteitscriteria. De auteurs constateerden dat blootstelling aan EMF-RF vóór het slapengaan het EEG verandert bij een groep personen met een bepaald genotype. De auteurs identificeerden een mogelijk mechanisme waarbij calciumkanalen betrokken zijn dat aan dit effect ten grondslag zou kunnen liggen. Daarom roepen zij op tot verder onderzoek om hun hypothese te toetsen.

Een andere studie die aan de meeste kwaliteitscriteria voldoet, is die van Jyoti et al. Hun resultaten toonden geen effect aan van blootstelling aan 5G-EMV op menselijke huidcellen. Op basis van deze ene studie trekken de auteurs echter vrij snel conclusies. Deze resultaten moeten verder worden onderzocht en gerepliceerd.

Als conclusie van dit rapport merken we verschillende pistes op die verder onderzoek vereisen (Sousouri et al., Seewooruttun et al., Mevissen et al.). Als de biologische effecten worden bevestigd, is verder onderzoek nodig om de reële implicaties voor de menselijke gezondheid beter te begrijpen.

Tegenwoordig worden alle beoordelingen van de WHO gepubliceerd. We zullen de interpretatie van deze beoordelingen en de uit deze resultaten voortvloeiende besluitvorming nauwlettend opvolgen.

2.2 EPIDEMIOLOGISCHE STUDIES

2.2.1 Reviews en meta-analyses

Recent onderzoek naar elektromagnetische velden en gezondheidsrisico's, negentiende rapport van de Wetenschappelijke Raad voor Elektromagnetische Velden van SSM
Swedish Radiation Safety Authority (SSM). (2025).
www.ssm.se

Inleiding: De Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van de Swedish Radiation Safety Authority (SSM) houdt toezicht op het huidige onderzoek naar mogelijke gezondheidsrisico's in verband met blootstelling aan elektromagnetische velden. De SSM geeft advies over de beoordeling van mogelijke gezondheidsrisico's.

Methoden: De raad is verplicht om jaarlijks een schriftelijk rapport uit te brengen over de huidige onderzoeks- en kennissituatie. Dit is een consensusrapport, wat betekent dat alle leden van de Wetenschappelijke Raad het eens zijn met het volledige rapport. Dit verhoogt de kracht van de gegeven conclusies. Het hoofddoel van het rapport is het onderzoek van het voorgaande jaar op het gebied van elektromagnetische velden (EMV) en gezondheid te behandelen, maar ook om dit in de context van de huidige kennis te plaatsen. Het rapport geeft de autoriteit een overzicht en biedt een belangrijke basis voor risicobeoordeling. Dit rapport geeft een overzicht van studies over elektromagnetische velden (EMV) en gezondheidsrisico's, gepubliceerd van januari 2023 tot en met december 2023. Het rapport is het negentiende in een reeks jaarlijkse wetenschappelijke overzichten, waarin achtereenvolgens relevante nieuwe onderzoeken worden besproken en beoordeeld en deze in de context van de beschikbare informatie worden geplaatst. Het rapport bestrijkt verschillende gebieden van EMV (statische, laagfrequente, intermediaire en radiofrequentievelden) en verschillende soorten studies, zoals biologische, menselijke en epidemiologische studies. Het resultaat zal een zich geleidelijk ontwikkelende gezondheidsrisicobeoordeling van blootstelling aan EMV zijn.

Resultaten: Er zijn geen nieuw vastgestelde oorzakelijke verbanden tussen blootstelling aan EMV en gezondheidsrisico's vastgesteld. De studies die in dit rapport worden gepresenteerd, geven geen antwoord op de vraag of het consequent waargenomen verband tussen blootstelling aan ELF-magnetisch veld (ELF-MF) en leukemie bij kinderen in de epidemiologie causaal is of niet. Nieuw onderzoek naar hersentumoren en het gebruik van mobiele telefoons (RF-EMV) is in lijn met eerder onderzoek dat vooral een afwezigheid van risico suggereert. De schildklier wordt mogelijk sterk blootgesteld tijdens mobiele telefoongesprekken, maar er is tot nu toe weinig onderzoek gedaan naar schildklierkanker. Wat dierstudies betreft, is het moeilijk om algemene conclusies te trekken, behalve dat onder bepaalde omstandigheden sommige effecten van blootstelling aan RF-EMV worden waargenomen bij proefdieren. De waarnemingen van verhoogde oxidatieve stress die in eerdere SSM-rapporten zijn gemeld, worden nog steeds gevonden, sommige zelfs onder de huidige referentieniveaus. Oxidatieve stress is een natuurlijk biologisch proces dat soms betrokken kan zijn bij de pathogenese, maar onder welke omstandigheden oxidatieve stress als gevolg van zwakke blootstelling aan radiogolven de menselijke gezondheid kan beïnvloeden, moet nog worden onderzocht. Het is opmerkelijk dat nieuwe studies opnieuw aantoonden dat de menselijke waarnemingsdrempels lager zijn in hybride blootstellingsomstandigheden dan in DC- of AC-velden alleen.

Conclusie: Ondanks het feit dat er tot op heden geen gezondheidsrisico's in verband met zwakke elektromagnetische velden zijn aangetoond, is de autoriteit van mening dat verder onderzoek belangrijk is, met name met betrekking tot de langetermijneffecten aangezien min of meer de hele bevolking wordt blootgesteld. Een belangrijk punt hier is om de relatie tussen blootstelling aan radiogolven en oxidatieve stress die in dierstudies is waargenomen verder te onderzoeken en om vast te stellen of er een verband bij mensen bestaat en, zo ja, in welke mate deze de menselijke gezondheid kan beïnvloeden. Een ander belangrijk punt is het verduidelijken van het verband tussen zwakke laagfrequente magnetische velden en leukemie bij kinderen, zoals waargenomen in epidemiologische studies. Draadloze informatietechnologie evolueert voortdurend en er zullen nieuwe frequentiebereiken worden gebruikt. Hoewel er geen vastgesteld mechanisme is om de gezondheid te beïnvloeden door zwakke blootstelling aan radiogolven, is er behoefte aan meer onderzoek naar de nieuwe frequentiedomeinen die voor 5G worden gebruikt. De Autoriteit moedigt onderzoekers aan om epidemiologisch onderzoek op dit gebied te gaan doen. Er zijn momenteel bijvoorbeeld maar heel weinig onderzoeken naar de 26 GHz-band.

Effecten van mobiele elektromagnetische blootstelling op hersenoscillaties en corticale prikkelbaarheid: scoping review

Torkan, A.; Zoghi, M.; Foroughimehr, N.; Yavari, A.; Jaberzadeh, S. (2025) *Sensors*, 25, 2749. https://doi.org/10.3390/s25092749

Inleiding: Met het wijdverbreide gebruik van smartphones zijn er zorgen ontstaan over een verhoogde blootstelling aan niet-ioniserende radiofrequente elektromagnetische velden.

Methode: Deze scoping review onderzoekt de effecten van blootstelling aan mobiele telefoons op neurale oscillaties en corticale prikkelbaarheid, met de nadruk op zowel motorische als niet-motorische gebieden van de hersenschors.

Resultaten: Een scoping review identificeerde 78 onderzoeken waarbij gezonde personen betrokken waren en waarbij elektro-encefalografie werd gebruikt en slechts twee onderzoeken die transcraniële magnetische stimulatie als primaire technische hulpmiddelen onderzochten.

Conclusie: De bevindingen suggereren dat blootstelling aan mobiele telefoons de hersenoscillaties en corticale prikkelbaarheid kan beïnvloeden. Inconsistenties in experimentele methoden in verschillende onderzoeken maken het echter moeilijk om definitieve conclusies te trekken. Bovendien blijft het onderzoek naar technologie van de vijfde generatie, met name mmWave-blootstelling van mobiele netwerken van de volgende generatie, beperkt en moet het verder worden onderzocht. Deze hiaten benadrukken de noodzaak van meer diepgaand onderzoek naar de invloed van blootstelling aan mobiele telefoons op de hersenfunctie.

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden en IARC-carcinogene beoordeling: risico op vooringenomenheid voorlopige literatuurbeoordeling voor 10 belangrijke kenmerken van kankerverwekkende stoffen voor de mens

Simkó, M., Repacholi, M.H., Foster, K.R. et al. (2025). *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 796, 108545.
https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2025.108545.

Inleiding: Dit is de eerste studie die wil bepalen of blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV), onder de niveaus die worden aanbevolen in de ICNIRP-richtlijnen (2020), van invloed kan zijn op een van de tien belangrijkste kenmerken (KC's) van kankerverwekkende stoffen voor de mens, ontwikkeld door het International Agency for Research on Cancer (IARC).

Methoden: De auteurs definiëren de 10 KC's en hun relevantie voor carcinogenese; beoordeling van in-vivo- en in-vitrostudies die relevant zijn voor de KC's; en voeren een risicoanalyse van bias (RoB) uit aan de hand van 6 criteria. Ze hebben geen KC-studies over genotoxiciteit of oxidatieve stress opgenomen sinds Romeo et al. (2024) en Meyer et al. (2024) onlangs relevante systematische reviews hebben gepubliceerd, maar nota nemen van hun respectieve conclusies. Van de andere 8 KC's werden tot en met 30 juni 2023 119 in vitro en 40 in vitro metingen van in vivo studies geïdentificeerd.

Resultaten: De geïncludeerde studies toonden in 38% statistisch significante effecten van blootstelling aan. De auteurs identificeerden een sterk verband tussen de kwaliteit van de studie en de uitkomst, waarbij degenen die aan meer RoB-criteria voldeden, minder kans hadden om statistisch significante effecten te rapporteren. Er werden effecten gerapporteerd over het gehele frequentiebereik, blootstellingsniveaus en biologische eindpunten zonder duidelijk patroon van blootstellingsparameters die tot effecten leidden. Alleen KC10 (veranderde celproliferatie, celdood of nutriëntenvoorziening) heeft voldoende studies om dit te analyseren, maar de andere KC's hadden weinig studies en diverse eindpunten.

Conclusie: Enkele positieve studies van relatief hoge kwaliteit vereisen follow-up door middel van aanvullende gerichte studies. De heterogeniteit en de over het algemeen slechte studiekwaliteit suggereren de noodzaak van studies van hoge kwaliteit naar deze eindpunten, bij voorkeur in overeenstemming met normen zoals de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling.

Impact van radiofrequente elektromagnetische velden op hartactiviteit in rust: een systematische review van gezonde studies bij mensen

Michelant, L., Selmaoui, B. (2025). *Bioelectromagnetism*, 46:e70014.
https://doi.org/10.1002/bem.70014

Inleiding: Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) komt steeds vaker voor, wat aanleiding geeft tot bezorgdheid over mogelijke niet-thermische gezondheidseffecten. Deze systematische review synthetiseert actueel bewijs met betrekking tot de effecten van RF-blootstelling op hartactiviteit, met de nadruk op hartslag (HR) en hartslagvariabiliteit (HRV).

Methoden: Studies bij gezonde personen werden geselecteerd op basis van strikte methodologische criteria, waaronder experimenteel ontwerp, controle op verstorende variabelen en voldoende details over blootstellingsparameters. Publicaties werden opgenomen als ze gezonde proefpersonen met en zonder blootstelling vergeleken en hartmetingen, specifieke absorptiesnelheid of blootstellingsmeting verstrekten.

Resultaten: In totaal werden 28 artikelen geanalyseerd. Deze beoordeling omvatte onderzoeken met RF-blootstelling variërend van 100 tot 110.000 MHz en blootstellingsduur variërend van korte perioden tot 7 nachten, waarbij de meeste onderzoeken tussen 5 en 50 minuten duurden.

Conclusie: De meeste onderzoeken toonden geen significante effecten van RF-blootstelling op HR aan, ongeacht het blootstellingssysteem, de frequentie, de duur, de leeftijd, het geslacht, de afstand of de positie van de proefpersoon. De bevindingen voor HRV waren genuanceerder, waarbij de meeste onderzoeken geen significante impact op de belangrijkste HRV-parameters aangaven. Er kwamen echter enkele positie-afhankelijke variaties naar voren, met name in op antennes gebaseerde studies. Bovendien suggereert de analyse dat blootstelling aan RF met name kan interfereren met cardiale regulatiemechanismen wanneer het cardiovasculaire systeem wordt uitgedaagd en zich moet aanpassen, zoals tijdens houdingsveranderingen of fysiologische manoeuvres, hoewel er onvoldoende vergelijkbare studies zijn om deze hypothese te valideren. Belangrijk is dat alle geïncludeerde onderzoeken werden uitgevoerd onder rust- of niet-stressvolle omstandigheden en dat er alleen gezonde deelnemers bij betrokken waren. Daarom kunnen deze conclusies niet worden

gegeneraliseerd naar gestresste toestanden of klinische populaties. Bovendien is methodologische harmonisatie nodig om de vergelijkbaarheid van toekomstige studies te verbeteren.

Toelichting: De belangrijkste beperking van het huidige bewijs is de heterogeniteit van de experimentele protocollen, wat de noodzaak van methodologische standaardisatie in toekomstige studies benadrukt. Om de huidige heterogeniteit aan te pakken, stellen de auteurs specifieke methodologische aanbevelingen voor, waaronder systematische blindering, nauwkeurige blootstellingsmeting en gedetailleerde blootstelling, om de vergelijkbaarheid en reproduceerbaarheid in toekomstige studies te verbeteren.

2.2.2 Gebruik van mobiele telefoons

Trends in de incidentie van hersenkanker en het gebruik van mobiele telefoons: analyse van het Spaanse netwerk van kankerregisters (REDECAN)

Galceran, J., Ameijide, A., Cañete, A et al. (2025). *Journal of Cardiovascular Imaging*, voorafgaand aan print. https://doi.org/10.1007/s12094-025-03932-y

Inleiding: Het verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en het risico op hersenkanker blijft controversieel. Het doel van deze studie is het beschrijven van trends in de incidentie van kanker van het centrale zenuwstelsel (CZS) in Spanje en de mogelijke relatie met het gebruik van mobiele telefoons.

Methoden: Trends en trendveranderingen van 1985 tot 2015 in aangepaste incidentiecijfers van CZS-kanker naar geslacht, leeftijd (volwassenen en kinderen), plaats en histologisch type werden beoordeeld met behulp van gegevens uit 14 algemene en pediatrische kankerregisters.

Resultaten: De studie omvatte 20.325 CZS-maligniteiten bij volwassenen en 2.372 bij kinderen. Bij volwassenen vertoonde het totale aantal kwaadaardige hersentumoren een lichte toename van 0,2% (95% BI: 0,1 - 0,4) per jaar. Deze stijging concentreerde zich in de eerste jaren tot 1996 (1,7% per jaar, 95% BI: 0,9 - 2,6), gevolgd door 20 jaar van een niet-significante lichte daling van -0,1% (95% BI: -0,4 - 0,1) per jaar tot 2015. Bij kinderen werd een toename van 7,6% (95% BI: 2,4 – 13,1) per jaar tot 1991 waargenomen, gevolgd door een afname van -1,0% (95%BI: -1,7 - -0,3) per jaar tot 2015. Deze toename van de incidentie in de jaren 1980 en vroege jaren 1990 kan worden verklaard door diagnostische verbeteringen, vooral in de beeldvormingstechnieken die in deze jaren zijn geïmplementeerd.

Conclusie: De huidige bevindingen ondersteunen geen mogelijk verband tussen het gebruik van mobiele telefoons en de incidentie van kwaadaardige hersentumoren. De mogelijkheid van de aanwezigheid van een zwakke correlatie of dat een langere latentieperiode nodig zou zijn om een mogelijke ecologische correlatie waar te nemen, kan echter niet worden uitgesloten.

Gevaar voor niet-ioniserende straling: Effect van het gebruik van mobiele telefoons op menselijke cognitieve functies in de gegevensuitwisselingsmodus

Heydari, F., Yoosefee, S., Khalili, P., Ayoobi, F., Shafiei, SA (2025). *International Journal for Radiation Research*, 23(1), 21-27.
http://dx.doi.org/10.61186/ijrr.23.1.21c

Inleiding: Mobiele telefoons zijn een belangrijk onderdeel van het leven van mensen in de hedendaagse samenlevingen. De auteurs vragen zich af of deze straling bepaalde cognitieve functies kunnen beïnvloeden terwijl mensen autorijden. Deze studie heeft tot doel het effect van straling van mobiele telefoons op de cognitieve functies van de hersenen te onderzoeken.

Methoden: Veertig vrouwelijke studenten zonder depressie of angst deden vrijwillig mee aan de cross-sectionele studie. Tijdens één sessie werden de vrijwilligers willekeurig blootgesteld aan straling van mobiele telefoons (20 deelnemers in de eerste en 20 deelnemers in de tweede). Deelnemers voerden in elke sessie vier cognitieve tests uit. Een p-waarde van minder dan 0,05 werd genomen als afkappunt om een statistisch significant resultaat te beschouwen.

Resultaten: In het congruente deel van de Stroop-test was de reactietijd (RT) in beide groepen verminderd gedurende de tijd dat vrijwilligers werden blootgesteld aan straling en waren er significante verschillen tussen sessies in beide groepen (P=0,005 en P<0,001). Deze verschillen waren significant tussen de twee groepen in verschillende sessies. Het aantal fouten nam echter af tijdens blootstelling aan straling en dit verschil was significant in de eerste groep (P=0,015). In het incongruente deel van de Stroop-test toonde de behandeling aan dat de straling van mobiele telefoons een significant effect had op de reductie van RT (P<0,001).

Conclusie: Op basis van deze studie lijkt het erop dat stralingsgolven van mobiele telefoons een beperkt effect hebben op RT, cognitieve en uitvoerende functies. Daarom kunnen verkeersongevallen die zich voordoen tijdens een mobiel telefoongesprek uitsluitend te wijten zijn aan de verdeling van de aandacht in plaats van aan een direct effect van mobiele telefoongolven.

Effecten van intermitterend gebruik van mobiele telefoons op auditieve verwerking en spraakperceptie bij jonge volwassenen

Schetty, H.N., Zacharias, J. (2025). *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery.* https://doi.org/10.1007/s12070-025-05686-z

Inleiding: Enkele gebruikers van mobiele telefoons hebben gemeld dat ze moeite hebben met het begrijpen van spraak. De studie onderzocht de relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons, gehoorvermogen, temporele verwerking en spraakperceptievaardigheden.

Methoden: In totaal werden 55 deelnemers in de leeftijd van 18-25 jaar opgenomen die mobiele telefoons specifiek hebben gebruikt om meer dan een uur per dag en langer gedurende 3-9 jaar te bellen. De deelnemers werden gegroepeerd op basis van het aantal uren en jaren telefoongebruik. Elke deelnemer onderging audiologische tests, waaronder zuivere toonaudiometrie (250 Hz-16 kHz), temporele fijne structuurtest, temporele modulatieoverdrachtsfunctie en spraakperceptie in lawaai werd uitgevoerd op elke deelnemer. Daarnaast vulden de deelnemers de vragenlijst Speech, Spatial, and Qualities of Hearing (SSQ) in.

Resultaten: De resultaten vonden geen significante correlatie tussen jaren of uren telefoongebruik en gehoordrempels over frequenties, psychoakoestische metingen, spraakperceptie in lawaai of SSQ. Bovendien werd er geen significant effect van telefoongebruik waargenomen op deze tests tussen de groepen.

Conclusie: Intermitterend gebruik van mobiele telefoons heeft geen substantiële invloed op de gehoor- of auditieve functies.

De associatie van veelgebruikte blootstelling aan elektromagnetische golven en zwangerschaps- en geboorte-uitkomsten bij Yazd-vrouwen: een cohortstudie

Razavimoghadam, M., Sefidkar, R. et al. (2025). *BMC Pregnancy and Childbirth,* 25:427.
https://doi.org/10.1186/s12884-025-07512-4

Inleiding: De huidige studie onderzocht het verband tussen blootstelling aan elektromagnetische golven van veelgebruikte apparaten en zwangerschaps- en geboorte-uitkomsten bij vrouwen in Yazd City.

Methoden: Deze studie werd uitgevoerd onder in totaal 1.666 deelnemers die tussen 2015 en 2019 deelnamen aan het Yazd Mother and Child Cohort Center. Mobiele telefoons, draadloze telefoons en Wi-Fi-instrumenten werden beschouwd als elektromagnetische golfbronnen. Zwangerschaps- en geboorte-uitkomsten die in deze studie zijn onderzocht, zijn onder meer miskraam, vroeggeboorte, abnormaal geboortegewicht en afwijkingen in de lengte en hoofdomtrek van pasgeborenen. SPSS versie 24 en R-studio versie 4.3.1 software werden gebruikt voor statistische analyse.

Resultaten: Uit de huidige studie bleek dat 41 (2,5%) moeders een miskraam hadden en 174 (10,4%) moeders vroeggeboorte. Verder werden in deze studie 181 (10,9%) zuigelingen met een abnormaal geboortegewicht, 117 (7%) zuigelingen met een abnormale lengte en 124 (7,4%) zuigelingen met een abnormale hoofdomtrek geobserveerd. Personen met een langere gespreksduur van mobiele telefoons tijdens de zwangerschap hadden een hoger risico op een miskraam ($p < 0{,}001$, RR (95% BI), 1,0061 (1,003-1,0093)), abnormaal geboortegewicht ($p = 0{,}002$, RR (95% BI), 1,0012 (1,0004-1,002)) en lengte ($p = 0{,}003$, RR (95% BI), 1,0014 (1,0004-1,0023)) in vergelijking met degenen met een lagere duur van mobiele telefoongesprekken in deze periode.

Conclusie: Uit de bevindingen van de studie bleek dat een toename van de blootstelling aan mobiele telefoons tijdens de zwangerschap het risico op zwangerschap en geboorte-uitkomsten kan verhogen, namelijk miskraam, abnormaal gewicht en lengte van het kind. Bovendien kunnen draadloze telefoongesprekken het risico op abnormaal gewicht bij pasgeborenen vergroten.

Toelichting: Het verzamelen van gegevens door middel van zelfrapportage houdt een aanzienlijk risico op vertekening in. Een andere beperking van deze studie is het grote aantal moeders dat zich terugtrok uit het cohort vanwege onvolledige informatie. Het effect van het gebruik van een draadloze telefoon op het risico op abnormaal gewicht van de baby werd alleen waargenomen bij aangepaste modellen. Er werd geen significant verband gevonden tussen het ruwe draadloze telefoongesprek en andere uitkomsten van zwangerschap en geboorte. Verder onderzoek is nodig om de specifieke gezondheidseffecten van elektromagnetische golven te bepalen.

2.2.3 Residentiële blootstelling

KIP OF EI? ATTRIBUTIEHYPOTHESE EN NOCEBO-HYPOTHESE OM SOMATISATIE GEASSOCIEERD MET WAARGENOMEN BLOOTSTELLING AAN RF-EMF TE VERKLAREN.

Ariccio S. , Traini E. , Portengen L. , Martens A. , Slottje P. , Vermeulen R. , Huss A. (2025). *Frontiers in Public Health*, 13.
https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2025.1561373

https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1561373

Inleiding: Het doel van deze studie is om de temporele relatie tussen de somatisatie die gewoonlijk wordt toegeschreven aan RF-EMV's te begrijpen, en om de attributiehypothese en de nocebo-hypothese in deze context te evalueren.

Methode: In deze longitudinale studie zijn gegevens uit de Nederlandse Cohortstudie Arbeids- en Milieugezondheid (AMIGO) geanalyseerd, bestaande uit een nulmeting uit 2011 (14.829 deelnemers) en een vervolgvragenlijst uit 2015 (7.904 deelnemers). Deelnemers vulden een vragenlijst in met informatie over hun gezondheidstoestand, waargenomen blootstelling aan het milieu en demografie. Twee sets van meervoudige regressies werden uitgevoerd om de twee hypothesen te evalueren.

Resultaten: De resultaten tonen aan dat de attributiehypothese over het algemeen symptoomrapportage verklaarde in verband met waargenomen blootstelling aan RF-EMF-basisstations en waargenomen blootstelling aan elektriciteit vaker dan de nocebo-hypothese.

Discussie: Deze bevinding onderscheidt zich van het grootste deel van de bestaande literatuur, die voornamelijk wijst op het nocebo-effect als de belangrijkste verklaring voor somatisatie als reactie op blootstelling aan RF-EMV. Hoewel dit in absolute termen het bestaan van een nocebo-effect niet uitsluit, heeft deze bevinding relevante gevolgen op het niveau van de beleidsvorming. De opkomende relevantie van de attributiehypothese verschuift de focus naar het ongemak van mensen met onverklaarbare symptomen en hun behoefte om een plausibele verklaring voor hun ongemak te vinden.

2.2.4 Experimenteel onderzoek bij mensen

Heeft elektromagnetische vervuiling in het ART-laboratorium invloed op de kwaliteit van het sperma? Een cross-sectionele observationele studie

Baldini, G.M.; Lot, D.; Ferri, D.; Montano, L.; Tartagni, M.V.; Malvasi, A.; Laganà, A.S.; Palumbo, M.; Baldini, D.; Trojano, G. (2025). *Toxics*, 13, 510.
https://doi.org/10.3390/toxics13060510

Inleiding: In de afgelopen decennia heeft blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV's) die door standaardapparaten worden gegenereerd, geleid tot bezorgdheid over mogelijke effecten op de reproductieve gezondheid. Deze cross-sectionele observationele studie onderzocht de impact van EMV's op de beweeglijkheid van sperma in een steekproef van 102 gezonde mannen in de leeftijd van 20-35 jaar in het IVF-laboratorium.

Methode: Spermamonsters werden gedurende een uur blootgesteld aan verschillende bronnen van EMV en onmiddellijk daarna werd de beweeglijkheid beoordeeld.

Resultaten: De resultaten toonden een significante vermindering van de progressieve beweeglijkheid van het sperma na blootstelling aan EMV's die worden gegenereerd door mobiele telefoons en Wi-Fi-repeaters in het laboratorium. Andere apparatuur vertoonde daarentegen geen significante effecten. De studie toonde een statistisch significante vermindering aan van de progressieve beweeglijkheid van het sperma na in vitro blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV's) die worden uitgezonden door mobiele communicatieapparatuur en draadloze toegangspunten voor lokale

netwerken. Omgekeerd veroorzaakten andere geëvalueerde elektromagnetische emitterende apparaten geen significante veranderingen in deze parameter.

Conclusie: Deze bevindingen suggereren een mogelijke negatieve impact van specifieke EMV-bronnen op de spermakwaliteit, wat de noodzaak onderstreept van verder uitgebreid onderzoek om de klinische implicaties op te helderen en mogelijke mitigatiestrategieën te ontwikkelen die gericht zijn op het verminderen van risico's voor de reproductieve gezondheid van mannen. Deze studie ontmoedigt de introductie van mobiele telefoons in IVF-laboratoria en beveelt aan om wifi-repeaters aan het plafond te plaatsen.

Toelichting: Een van de belangrijkste beperkingen betreft de steekproefomvang. Een andere beperkende factor heeft betrekking op de single-center studie; In feite kunnen de resultaten worden gekoppeld aan omgevingsfactoren die het bewijs beperken. Een andere beperking heeft te maken met het apparaat dat wordt gebruikt om de intensiteit van het magnetische veld te meten, dat frequenties tussen 50 MHz en 3,5 GHz kan lezen. Daarom was het niet in staat om de totale intensiteit van het magnetische veld van de Wi-Fi-repeater te evalueren, dat naast de klassieke gebruiksfrequentie op 2,4 GHz ook op 5 GHz. Het is essentieel om te erkennen dat verschillende factoren, waaronder leeftijd, levensstijl, blootstelling aan chemicaliën en genetica, de mannelijke vruchtbaarheid beïnvloeden. Dit kunnen verstorende factoren zijn, dus eventuele latere studies moeten hiermee rekening houden en hiermee een multivariate regressieve analyse uitvoeren. Daarnaast zijn er al eerder verschillende werkingsmechanismen voorgesteld om de nadelige effecten van RF-EMV's op spermaparameters te verklaren, maar tot op heden is er geen enkele robuust gevalideerd. Concluderend is aanvullend onderzoek nodig voordat zo'n strenge conclusie kan worden geformuleerd.

5G radiofrequentie-elektromagnetische veldeffecten op het menselijke slaapelektro-encefalogram: een gerandomiseerde gecontroleerde studie bij CACNA1C gegenotypeerde vrijwilligers

Sousouri, G., Eicher, C., D' Angelo, R.M. et al. (2025). *NeuroImage*, 317: 121340.
https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121340

Inleiding: De introductie van 5G-technologie als de nieuwste standaard in mobiele telecommunicatie heeft geleid tot bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten ervan. Eerdere studies van eerdere generaties radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF) toonden smalbandige spectrale verhogingen aan in het elektro-encefalografische (EEG) spoelfrequentiebereik (11-16 Hz) in niet-snelle oogbewegingen (NREM) slaap. De impact van 5G RF-EMF op de slaap is echter onvoldoende onderzocht. Bovendien kan RF-EMF L-type spanningsafhankelijke calciumkanalen (LTCC) activeren, die in verband zijn gebracht met slaapkwaliteit en EEG-oscillerende activiteit. Deze studie onderzoekt of de allelische variant rs7304986 in het CACNA1C-gen, dat codeert voor de α1C-subeenheid van LTCC, 5G RF-EMF-effecten op de EEG-spoelactiviteit in NREM-slaap moduleert.

Methoden: Vierendertig deelnemers, gegenotypeerd voor rs7304986 (15 T/C en 19 gematchte T/T-dragers), ondergingen een dubbelblinde, schijngecontroleerde studie met gestandaardiseerde blootstelling van de linkerhersenhelft aan twee 5G RF-EMF-signalen (3,6 GHz en 700 MHz) gedurende 30 minuten voor het slapengaan. De activiteit van de slaapspoel werd geanalyseerd met behulp van EEG met hoge dichtheid en het Fitting Oscillations & One Over f (FOOOF) -algoritme.

Resultaten: T/C-providers rapporteerden een langere slaaplatentie in vergelijking met T/T-carriers. Er werd een significante interactie waargenomen tussen blootstelling aan RF-EMF en het rs7304986-

genotype, waarbij slechts 3,6 GHz-blootstelling in T/C-dragers een snellere spoelcentrumfrequentie in de centrale, pariëtale en occipitale cortex induceerde in vergelijking met schijnvertoning.

Conclusie: Deze bevindingen suggereren dat 3,6 GHz 5G RF-EMF de frequentie van het spoelcentrum in NREM-slaap op een CACNA1C genotype-afhankelijke manier moduleert, wat LTCC impliceert bij de fysiologische respons op RF-EMF en de noodzaak onderstreept van verder onderzoek naar 5G-effecten op de gezondheid van de hersenen.

Beperkingen: De studie werd uitgevoerd in een vrij kleine homogene steekproef van jonge, voornamelijk vrouwelijke deelnemers. De bevindingen kunnen dus niet worden gegeneraliseerd. Bovendien kunnen de auteurs, vanwege het ontbreken van een aanpassingsnacht, een first-night-effect bij sommige individuen niet uitsluiten. Om het nachteffect te minimaliseren, randomiseerden en compenseerden ze alle blootstellingsomstandigheden tussen de deelnemers, en de statistische modellen hielden rekening met de variabiliteit van nacht tot nacht. Bovendien maakte de studie geen onderscheid tussen langzame en snelle spindels, waardoor de complexiteit van de spindelactiviteit mogelijk te eenvoudig wordt. Verder beoordeelde de studie de effecten van een enkele blootstelling. Langdurige blootstelling en de cumulatieve effecten ervan werden niet onderzocht, wat verschillende implicaties zou kunnen hebben voor slaap en onderliggende neurale activiteit. Ten slotte blijven de mechanistische onderbouwing van de allelische variant rs7304986 van CACNA1C, evenals het belang van andere genetische en/of omgevingsfactoren bij het moduleren van individuele RF-EMF-effecten op slaap en andere fysiologische processen onbekend.

Blootstellingsperceptie en symptoomrapportage bij idiopathische omgevingsintolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden met behulp van een mede ontworpen provocatietest

Ledent, M., Bordarie, J., Vatovez, B. et al. (2025). *Bioelectromagnetism*, 46:e70006.
https://doi.org/10.1002/bem.70006

Inleiding: Idiopathische omgevingsintolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden (IEI-EMF) is een syndroom dat mensen definieert die symptomen melden die zij toeschrijven aan hun blootstelling aan EMV-bronnen, zonder enige geïdentificeerde onderliggende medische aandoening om deze symptomen te verklaren. Tot op heden zijn provocatieprotocollen er niet in geslaagd een consistente relatie aan te tonen tussen blootstelling aan EMV en gerapporteerde symptomen, wat vragen oproept bij sommige onderzoekers en personen met IEI-EMF over de relevantie van deze protocollen voor het bestuderen van het syndroom. Om deze kritiek weg te nemen, werd een provocatieprotocol opgesteld in samenwerking met individuen met IEI-EMF. Deze studie presenteert de resultaten van de tests, met een focus op blootstellingsperceptie en symptoomrapportage onder IEI-EMF-vrijwilligers.

Methoden: In totaal werden 47 IEI-EMF-vrijwilligers ingeschreven en namen deel aan een gewenningssessie in het open veld. Hiervan voltooiden 27 de eerste dubbelblinde gecontroleerde blootstellingssessie, terwijl respectievelijk 26 en 16 vrijwilligers deelnamen aan drie sessies voor collectieve analyses en 12 sessies voor analyses op individueel niveau.

Resultaten: Op individueel niveau werd geen consistent verband gevonden tussen het zekerheidsniveau van de blootstellingsperceptie en de blootstellingsstatus, behalve bij één vrijwilliger wiens perceptie grotendeels consistent was met de blootstellingsstatus. Evenzo kwam de symptoomrapportage niet overeen met de blootstellingsstatus, behalve voor dezelfde vrijwilliger,

wiens symptoomrapportage een borderline significant resultaat vertoonde met de blootstellingsstatus. Voor de helft van de vrijwilligers was de symptoomrapportage echter significant gecorreleerd met het zekerheidsniveau van de blootstellingsperceptie, wat een nocebo-hypothese ondersteunde. Op collectief niveau werd geen consistentie waargenomen tussen het zekerheidsniveau van de blootstellingsperceptie, de rapportage van symptomen en de blootstellingsstatus.

Conclusie: Deze studie bespreekt de voorwaarden die nodig zijn voor toekomstige provocatieprotocollen om hun relevantie, aanvaardbaarheid en potentieel nut in een mogelijke zorggerichte benadering te vergroten. Het beschouwt ook kritiek op het gebruik van blootstellingsperceptie en symptoomrapportage als resultaten in provocatieprotocollen, ondanks hun centrale rol in hoe individuen zichzelf identificeren als individuen met IEI-EMF.

2.2.5 Algemene conclusie

Radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF), uitgezonden door mobiele telefoons, wifi-netwerken en andere draadloze technologieën, blijven het onderwerp van uitgebreid wetenschappelijk onderzoek naar hun mogelijke impact op de menselijke gezondheid. Ondanks de groeiende hoeveelheid literatuur op dit gebied, wordt de wetenschappelijke waarde van veel studies aanzienlijk ondermijnd door methodologische tekortkomingen. Deze omvatten onvoldoende steekproefomvang, onvoldoende controle van verstorende variabelen, slechte blootstellingsbeoordeling en het ontbreken van gestandaardiseerde protocollen. Dergelijke beperkingen brengen de betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid van bevindingen in gevaar, waardoor het moeilijk wordt om robuuste conclusies te trekken.

Op basis van de huidige stand van het onderzoek is er geen overtuigend bewijs om een oorzakelijk verband vast te stellen tussen blootstelling aan RF-EMV en nadelige gezondheidsresultaten. Systematische reviews en meta-analyses van beschikbare epidemiologische en experimentele studies onthullen over het algemeen inconsistente resultaten, waarbij positieve associaties zelden worden bevestigd in goed gecontroleerde vervolgstudies. Internationale gezondheidsautoriteiten, waaronder de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) en de Internationale Commissie voor bescherming tegen niet-ioniserende straling (ICNIRP), nemen daarom een voorzichtig standpunt in en benadrukken het gebrek aan voldoende bewijs voor schadelijke effecten bij blootstellingsniveaus binnen de bestaande richtlijnen.

Een bijzonder aandachtspunt binnen dit vakgebied is het fenomeen van elektromagnetische overgevoeligheid (EHS), waarbij mensen gezondheidsklachten melden die zij toeschrijven aan blootstelling aan elektromagnetische velden. Hoewel deze symptomen reëel zijn en vaak ernstig voor de getroffenen, suggereren gecontroleerde onderzoeken dat er geen consistent fysiologisch verband is tussen blootstelling en symptomen. In plaats daarvan wijzen onderzoeken op de aanwezigheid van een nocebo-effect, waarbij negatieve verwachtingen en overtuigingen over elektromagnetische straling bijdragen aan het ontstaan of verergeren van symptomen. Dit impliceert dat psychologische factoren een centrale rol kunnen spelen in de perceptie van gezondheidseffecten.

Desalniettemin blijft verder onderzoek essentieel, zowel om de biologische plausibiliteit van RF-EMV-gerelateerde gezondheidseffecten te verduidelijken als om de psychosociale mechanismen die ten grondslag liggen aan EHS beter te begrijpen. Toekomstige studies moeten zich houden aan strengere methodologische normen, met bijzondere aandacht voor dubbelblinde ontwerpen, objectieve

blootstellingsbeoordelingen en multidisciplinaire benaderingen die zowel biomedische als psychologische dimensies integreren.

Referenties

Ariccio S. , Traini E. , Portengen L. , Martens A. , Slottje P. , Vermeulen R. , Huss A. (2025).CHICKEN OR EGG? ATTRIBUTION HYPOTHESIS AND NOCEBO HYPOTHESIS TO EXPLAIN SOMATIZATION ASSOCIATED TO PERCEIVED RF-EMF EXPOSURE. *Frontiers in Public Health,* 13.
https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1561373

Baldini, G.M.; Lot, D.; Ferri, D.; Montano, L.; Tartagni, M.V.; Malvasi, A.; Laganà, A.S.; Palumbo, M.; Baldini, D.; Trojano, G. (2025). DOES ELECTROMAGNETIC POLLUTION IN THE ART LABORATORY AFFECT SPERM QUALITY? A CROSS-SECTIONAL OBSERVATIONAL STUDY. *Toxics*, 13, 510.
https://doi.org/10.3390/toxics13060510

Galceran, J., Ameijide, A., Cañete, A et al. (2025). TRENDS IN THE INCIDENCE OF BRAIN CANCER AND THE USE OF MOBILE PHONES: ANALYSIS OF THE SPANISH NETWORK OF CANCER REGISTRIES (REDECAN). *Journal of Cardiovascular Imaging*, ahead of print.
https://doi.org/10.1007/s12094-025-03932-y

Heydari,F. , Yoosefee, S., Khalili, P. , Ayoobi, F., Shafiei, S.A. (2025). NON -IONIZATION RADIATION HAZARD: EFFECT OF MOBILE PHONE USE ON HUMAN COGNITIVE FUNCTIONS IN DATA EXCHANGE MODE. International Journal of Radiation Research, 23(1), 21-27.
http://dx.doi.org/10.61186/ijrr.23.1.21c

Ledent, M., Bordarie, J., Vatovez, B. et al. (2025). EXPOSURE PERCEPTION AND SYMPTOM REPORTING IN IDIOPATHIC ENVIRONMENTAL INTOLERANCE ATTRIBUTED TO ELECTROMAGNETIC FIELDS USING A CO-DESIGNED PROVOCATION TEST. *Bioelectromagnetics*, 46:e70006.
https://doi.org/10.1002/bem.70006

Michelant, L., Selmaoui, B. (2025). IMPACT OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ON CARDIAC ACTIVITY AT REST: A SYSTEMATIC REVIEW OF HEALTHY HUMAN STUDIES. *Bioelectromagnetics*, 46:e70014. https://doi.org/10.1002/bem.70014

Razavimoghadam, M., Sefidkar, R. et al. (2025). THE ASSOCIATION OF WIDELY USED ELECTROMAGNETIC WAVES EXPOSURE AND PREGNANCY AND BIRTH OUTCOMES IN YAZD WOMEN: A COHORT STUDY. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25:427.
https://doi.org/10.1186/s12884-025-07512-4

Schetty, H.N., Zacharias, J. (2025). EFFECTS OF INTERMITTENT MOBILE PHONE USAGE ON AUDITORY PROCESSING AND SPEECH PERCEPTION IN YOUNG ADULTS. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery.* https://doi.org/10.1007/s12070-025-05686-z

Simkó, M., Repacholi, M.H., Foster, K.R. et al. (2025). EXPOSURE TO RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND IARC CARCINOGEN ASSESSMENT: RISK OF BIAS PRELIMINARY LITERATURE ASSESSMENT FOR 10 KEY CHARACTERISTICS OF HUMAN CARCINOGENS. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 796, 108545.
https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2025.108545.

Sousouri, G., Eicher, C., D' Angelo, R.M. et al. (2025). 5G RADIO-FREQUENCY-ELECTROMAGNETIC-FIELD EFFECTS ON THE HUMAN SLEEP ELECTROENCEPHALOGRAM: A RANDOMIZED CONTROLLED STUDY IN CACNA1C GENOTYPED VOLUNTEERS. *NeuroImage*, 317: 121340. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121340

Swedish Radiation Safety Authority (SSM). (2025). RECENT RESEARCH ON ELECTROMAGNETIC FELDS AND HEALTH RISK, NINETEENTH REPORT FROM SSM'S SCIENTIFIC COUNCIL ON ELECTROMAGNETIC FIELDS. www.ssm.se

Torkan, A.; Zoghi, M.; Foroughimehr, N.; Yavari, A.; Jaberzadeh, S. (2025) EFFECTS OF MOBILE ELECTROMAGNETIC EXPOSURE ON BRAIN OSCILLATIONS AND CORTICAL EXCITABILITY: SCOPING REVIEW, *Sensors,* 25, 2749. https://doi.org/10.3390/s25092749