



El-overfølsomhet (EHS, mikrobølgesyndrom) - Gjennomgang av mekanismer



Originalens tittel: Electromagnetic hypersensitivity (EHS, microwave syndrome) – Review of mechanisms

Yael Stein (MD)^{a,b,*}, Iris G. Udasin (MD)^c

^a Pain Clinic, Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine, Hebrew University-Hadassah Medical Center, Jerusalem, Israel

^b Electromagnetic Radiation Clinic, Hebrew University-Hadassah Medical Center, Jerusalem, Israel

^c EOHSI Clinical Center, Rutgers University- School of Public Health, NJ, USA

ARTIKKEL INFO

Emneord:

Elektromagnetiske felt
EMF
Elektrotåke
EHS
El-overfølsomhet
El-følsomhet
Mikrobølgesyndrom
Miljøomfintligheter
Biologiske virkninger
Mennesker
Mekanismer
Mobiltelefoner
Mikrobølger
Radiobølger
Radiofrekvenser
RF
ELF
Stråling
Apoptose / Celledød
Folkehelse
Føre-var-prinsippet

SAMMENDRAG

El-overfølsomhet (EHS), tidligere kjent som "mikrobølgesyndrom", er et klinisk syndrom karakterisert ved tilstedeværelsen av et bredt spekter av ikke-spesifikke multiple organsymptomer, og som typisk omfatter symptomer i sentralnervesystemet som oppstår etter pasientens akutte eller kronisk eksponering for elektro-magnetiske felt i omgivelsene eller i arbeidsmiljøer. Tallrike studier har påvist biologiske virkninger på cellenivå av elektromagnetiske felt (EMF) ved magnetiske (ELF) og radiobølgers frekvenser (RF) ved ekstremt lave intensiteter. Mange av mekanismene som er beskrevet for multipel kjemisk overfølsomhet (MCS) gjelder med modifikasjoner også for EHS. Gjentatte eksponeringer fører til at man blir ømfintlig og at responsen styrkes. Mange overfølsomme pasienter ser ut til å ha svekkede avgiftningssystemer som blir overbelastet av forhøyet oksidativt stress. EMF kan indusere endringer i kalsiumsignaleringskaskader, betydelig aktivering av frie radikaler og overproduksjon av reaktive oksygenarter (ROS) i levende celler, samt endrede neurologiske og kognitive funksjoner og forstyrrelse av blod-hjerne-barrieren. Magnetittkrystaller absorberer fra forurensningen som forbrenningsluft utgjør, kan spille en viktig rolle for virkninger i hjernen fra EMF. Autonome nervesystem-virkninger fra EMF kan også komme til uttrykk som symptomer i det kardiiovaskulære systemet. Andre vanlige virkninger av EMF omfatter virkninger på hud, mikrovaskulatur [de tynne blodårene der den viktige utvekslingen av stoffer mellom blodet og vevsvæskene skjer], immunsystem og hematologiske systemer. Det konkluderes med at mekanismene som ligger til grunn for EHS-symptomene er biologisk plausible og at mange organiske fysio-logiske responser oppstår etter EMF-eksponering. Pasienter kan ha neurologiske, nevrohormonelle og nevro-psykiatriske symptomer etter eksponering for EMF som følge av neurologiske skader og oversensibiliserte nevro-logiske responser. Mer relevante diagnostiske tester for EHS bør utvikles. Eksponeringsgrensene bør senkes for å beskytte mot biologiske effekter av EMF. Spredningen av lokale og globale trådløse nettverk bør reduseres, og tryggere kablede nettverk bør brukes i stedet for trådløse, for å beskytte mottakelige medlemmer av befolkningen. Offentlige steder bør gjøres tilgjengelige for el-overfølsomme personer.

1. Bakgrunn og innledning

El-overfølsomhet (EHS), tidligere kjent som "mikrobølgesyndrom", er en klinisk tilstand karakterisert ved et bredt spekter av ikke-spesifikke multiple organsystemer som vanligvis oppstår etter at en person er blitt eksponert for elektromagnetiske felt (EMF) fra miljøet. Tallrike studier har påvist biologiske virkninger på cellenivå fra elektromagnetiske felt (EMF), ved magnetiske (ELF) og ved radio-frekvenser (RF) i ekstremt lave intensiteter. Følsomhet for EMF, en systemisk menneskelig respons på eksponering for kronisk lavintensitets radiofrekvente felt (RF), ble først rapportert av sovjetiske medisinske forskere på 1950-tallet, som kalte det "nevrotisk syndrom" (Johnson Liakouris, 1998; Silverman, 1973). Symptomene er tilsvarende til dem som er blitt rapportert av pasienter med multipel kjemisk

følsomhet (MCS) og omfatter symptomer på sentralnervesystemet, herunder hodepine, tretthet, stress, søvnforstyrrelser, "hjerne-tåke", forstyrret korttidshukommelse, irritabilitet, emosjonell labilitet og angst. Andre symptomer som ofte oppleves av pasienter omfatter kvalme, brystmerter, hjertebank, kortpustethet, muskelsmerter, redusert libido, nedsatt appetitt og hudreaksjoner (Pollack and Healer, 1967; Dodge, 1969; Glaser, 1972; Irvine, 2005; Mild et al., 2004; Eltiti et al., 2007; McCarty et al., 2011; Baliatsas et al., 2012; Havas, 2013). Det kliniske syndromet ble kalt "idiopatisk miljøintoleranse tilskrevet elektromagnetiske felt" [IEI-EMF] av Verdens helseorganisasjon på sin workshop i Praha i 2004. I Sverige er "el-overfølsomhet" eller EHS en offisielt anerkjent funksjonshemming (Johansson, 2006).

* Kontaktperson, Pain Clinic, Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine, Hebrew University-Hadassah Medical Center, Jerusalem, Israel.

Epost-adresse: yael.stein1@mail.huji.ac.il (Y. Stein).

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109445>

Mottatt 2. august 2018; akseptert 25. mars 2020

Tilgjengelig på nett 30. mars 2020

0013-9351/ © 2020 Published by Elsevier Inc.

Den amerikanske forvaltningen utga rapporter på 1970- og 1980-tallet om yrkeseksponering for EMF. Arbeidere med mer langvarig eksponering for EMF opplevde hodepine, søvnforstyrrelser, humørsvingninger, depresjon, hukommelsessvikt, økt perspirasjon og redusert libido (Dwyer and Leeper, 1978). Lerner (1980) fulgte en kohort på 1300 arbeidere. De med relativt lavt nivå EMF-eksponering opplevde en dobling av nevropsykiatriske symptomer. De arbeiderne som ble utsatt for høyere nivåer av EMF opplevde en tredobling av nevropsykiatriske symptomer (Pall, 2016). Arbeidstakere som installerte trådløse smarte målere på utsiden av boligen rapporterer økning i søvnløshet, tinus, trykk i hodet og konsentrasjonsvansker som økte i alvorlighetsgrad med økt eksponering (Conrad, 2013).

Bergqvist mfl. (1997) beskrev tre stadier i utviklingen av EHS: i det første stadiet oppstår og avtar symptomer og er forbigående, i det andre stadiet får symptomene økt varighet eller intensitet, eller symptomene øker i antall, og i tredje stadium utløses invaliderende neurologiske symptomer selv etter lave nivåer av eksponering for EMF. Den østerrikske legeforeningen (2012) anerkjenner søvnproblemer, muskel- og leddproblemer, hodepine, konsentrasjonsvansker, hukommelsesproblemer, samt tinnitus og trykkfølelse i ørene som typiske. Hutter mfl. (2010) noterte seg tinnitus i en undergruppe av mobiltelefonbrukere som brukte telefonen på den ipsilaterale siden [den som de fikk tinnitus på] i 4 år og lenger (OR 1,95; CI 1,00–3,8). Bruk av mobiltelefoner i mer enn 60 minutter per dag over minst fire år har blitt knyttet til subjektive symptomer som oppvarming av øret og tinnitus, og antas å være forbundet med skade på øret (Panda et al., 2010).

Den vanligste klagen fra personer med eksponering for EMF fra mobiltelefoner er hodepine (Yakymenko mfl, 2011, 2015), og oppviste en økning i forekomst av hodepine og øreverk (63,6 %) hos mobiltelefonbrukere som snakket mer enn 3 timer per dag, sammenlignet med 20 % hos forsøkspersoner som snakket i mobiltelefon i mindre enn 15 minutter per dag. Szykowska mfl (2014) rapporterte lignende funn der 62 % av voksne mobiltelefonbrukere rapporterte om hodepine mens de snakket i mobiltelefon. En studie av indiske medisinstudenter fant at 22 % av mobiltelefonbrukere rapporterte hodepine og 91 % fikk øresmerter hvis de snakket i mobiltelefon mer enn 2 timer per dag. Hodepine og smerter i øret ble også opplevd i denne kohorten hvis de brukte mobiltelefon til sosiale medier, spill og video (Datta mfl., 2016). En intervjuundersøkelse utført i Egypt viste at forekomsten av hodepine, redusert konsentrasjon og søvnløshet hos studenter ble bedre etter redusert bruk av mobiltelefon (Mohamed et al., 2014). En studie i Kina viste at barn 9–12 år som hadde eid en mobiltelefon i mer enn ett år doblet forekomsten av hodepine og søvnforstyrrelser (Zheng et al., 2015).

Belpomme og Irigaray har bygget opp en database med mer enn 2000 selvrapporterte tilfeller fra pasienter med EHS og/eller multippel kjemisk følsomhet (MCS). Forfatterne lister opp symptomene som er rapportert av pasientene deres: "hodepine, tinnitus, hyperakusis, svimmelhet, balanseforstyrrelser, overfladiske og/eller dype følsomhetsavvik, fibromyalgi, vegetativ nervedysfunksjon og redusert kognitive evner, herunder umiddelbare hukommelsestap, oppmerksomhets- og konsentrasjonssvikt, og dessuten forvirring mht tid og rom. Disse symptomene var forbundet med kronisk søvnløshet, tretthet og depressive tendenser, i tillegg til emosjonell labilitet og noen ganger irritabilitet."

Hver pasients spesifikke symptomprofil ble gjentatte ganger og konsekvent rapportert av pasienten ved eksponering for EMF-kilder, selv ved svak intensitet, og gikk tilbake eller forsvant gradvis etter at de kom seg bort fra disse antatte kildene.

Symptomene beskrevet over er i stor grad selvrapporterte, men forårsaker betydelig ubehag og potensiell funksjonshemming hos både voksne og barn. Denne oversikten diskuterer eksponeringskilder og målinger av eksponering, samt objektive målinger/kliniske tester for å forklare symptomer og helsevirkninger som oppleves hos pasienter som blir eksponert for EMF.

2. Eksponering

Eksponering for EMF er i 2008–9 blitt beskrevet som mellom 10 og 15 ganger høyere enn jordens naturlige magnetiske felt (Röösl, 2008; Nittby et al., 2009). (Rundt 1 GHz-frekvensbåndet spesielt har eksponeringer økt med omtrent 10^{18} ganger naturlige nivåer (Bandara og Carpenter, 2018). I 2010 ble det anslått at mer enn 2 milliarder mennesker over hele verden bruker mobiltelefoner (Soffritti, 2010). De elektromagnetiske feltene som mennesker kan bli utsatt for, genereres av en rekke enheter som finnes i miljøet eller enheter som brukes av enkeltpersoner, herunder mobiltelefoner. Eksempler på kunstige elektromagnetiske felt i radiofrekvensområdet (RF) i miljøet omfatter mobiltelefoner, antenner og basestasjoner (2G, 3G, 4G-teknologi), og spesifikke telekommunikasjonssystemer og -enheter, herunder Globalt system for mobilkommunikasjon (GSM), Universelt Mobil Telekommunikasjonssystem [UMTS], Langsiktig utvikling [LTE], radiolinjer som bruker mikrobølger, standarden Digitalt forbedret snorløs telefoni [DECT], snorløse telefoner, bærbare datamaskiner, nettbrett og liknende leseskermer, trådløse internettnettverk (Wi-Fi), trådløst lokalnettverk (WLAN), skjermer for videovisning, radio- og TV-apparater, trådløse konsoller for videospill og trådløse forbruksmålere for [strøm,] vann- og gass. 5G-teknologi er for tiden under utvikling og vil kunne øke eksponeringen. Eksponeringskilder for lavfrekvente elektromagnetiske felt [ELF] omfatter høyspentledninger, elektriske installasjoner, lysrør og fotokopimaskiner (Kaszuba-Zwońska et al., 2015; De Luca et al., 2014; Belyaev et al., 2016).

3. Fysiologiske belegg for helsevirkninger

Flere studier gjengir fra nevropsykiatrisk testing avvik hos pasienter som rapporterer nevropsykiatriske symptomer etter eksponering. Reeves (2000) rapporterte om 34 av personellet i USAs flyvåpen som ble eksponert for RF ved intensiteter høyere enn tillatte eksponeringsgrenser. De unge mennene rapporterte akutte neurologiske symptomer etter eksponering og standardiserte nevropsykiatriske tester indikerte at to tredjedeler av forsøkspersonene viste funn i samsvar med antisosial personlighet, mildt organisk hjernesyndrom, angst og tendens til somatisering (Carpenter, 2015).

Andre studier indikerer endringer i hjernens blodstrøm og stoffskifte av glukose i hjernen, som kan demonstreres ved bruk av positronemisjonstomografi (PET) (Volkow et al., 2011). Volkow var i stand til å demonstrere hos friske frivillige mennesker at en 50-minutters mobiltelefonsamtale var knyttet til økt hjernemetabolisme, sammenlignet med ingen eksponering, i hjernelesjonen nærmest mobiltelefonantennen. Flere studier (Haarala et al., 2003; Huber et al., 2002, 2005) har påvist endringer i funn på PET-avbildning av hjernen. Huber et al. (2005) var i stand til å vise at hvis mobiltelefonen er lenger fra øret, blir endringene i hjernens blodstrøm redusert.

Belpomme et al. (2015) så etter spesifikke patologiske endringer i hjernen hos 727 EHS- og MCS-pasienter. Vanlig cerebral MR og ultralyd av halsarterien var generelt normalt hos de undersøkte pasientene. Forfatterne målte deretter hjernens blodstrøm i tinninglappene i begge hjernehalvdelen til pasientene. Dette ble gjort ved å bruke ekko-doppler og måle pulslagene i hjernen. Forfatterne fant at i forhold til normale forsøkspersoner var cerebral puls redusert hos MCS- og EHS-pasienter, og at pulsen nesten ble borte i tinninglappene. Selv om disse målingene kan være uspesifikke, representerer de mulige endringer i hjernefunksjonen hos disse pasientene. I sin oppdaterte artikkel har Belpomme og Irigaray gjengitt funnene de har gjort ved hjelp av ultralydbasert cerebral tomosygmografi [kombinasjon av bildebehandling og måling for detaljert oversikt over blodkarfunksjonen] og transkranial doppler-ultralyd i en mye større database med over 2000 pasienter (Belpomme og Irigaray, 2020). De oppsummerte at mange av pasientene har en defekt i den midtre cerebrale arteriens hemodynamikk, og fant en reduksjon i pulsmetriske indeks [et mål på blodgjennomstrømmingen] i vevet i kapsulotalamus-området [forbindelsene mellom capsula interna og thalamus] i tinninglappene. Forfatterne foreslår at dette lokaliserte funnet viser objektive biologiske belegg for at det limbiske systemet og thalamus er involvert.

Belpomme og Irigaray fant EHS-pasienter med lavgradig betennelse. Forhøyede verdier av hypersensitivt C-reaktivt protein (hs-CRP) ble funnet hos 12–15 %, av histamin hos 30–40 %, immunoglobulin E (IgE) hos 20–25 % av pasientene uten påvist allergi, og varmesjokkprotein 27 (HSP 27) og HSP-70 hos 12–30 % av pasientene. Autoantistoffer mot O-myein [oligodendrocytter som danner myelin] ble påvist i det perifere blodet hos ca. 20 % av pasientene. En økning i S100B-protein ble funnet hos 15–20 % av pasientene og en økning i nitrosativt stressrelatert nitrotyrosin (NTT) hos 8–30 %. Forfatterne konkluderte med at funnene tyder på en autoimmun respons mot den hvite substansen i nervesystemet hos disse pasientene. 79 % av EHS-pasientene framviste en økning i minst én av de undersøkte oksidativt/nitrosativt stressrelaterte biomarkørene i sitt perifere blod: tiobarbitursyreaktive stoffer (TBARS), oksidert glutation (GSSG) og/eller NTT oksidativt stress biomarkører. 15 % av pasientene hadde alle 3 biomarkørene, 21 % hadde to av biomarkørene og ytterligere 43 % hadde bare én biomarkør. Nivåer i 24-timers urin av forholdet 6-hydroksymelatonin (6-OHMS, en melatoninmetabolitt)/kreatinin-var normalt eller betydelig redusert i 88 % av tilfellene, og signifikant økt hos 12 % av pasientene. Forfatterne antyder at de lave nivåene kan skyldes bruk av melatonin som middel mot frie radikaler. Det fins noen belegg for objektive kardiovaskulære endringer etter eksponering for EMF. Havas (2013) og Tuengler og von Klitzing (2013) har gjennomgått litteraturen og referert til yrkesstudier av arbeidere med overeksponering for EMF som hadde forhøyet hyppighet av hvile- og 24-timers EKG-avvik og forhyet antall ventrikulære premature hjerteslag [dvs. som utløses fra hjertekamrene i stedet for fra sinusknuten].

4. Mekanismer

Mange av mekanismene som er beskrevet for multipel kjemisk overfølsomhet (MCS) gjelder med modifikasjoner for EHS. Gjentatte eksponeringer resulterer i sensibilisering og påfølgende styrking av responsen (Overstreet, 2001; Latremoliere and Woolf, 2009; Molot, 2013; Sage, 2015). Mange overfølsomme pasienter ser ut til å ha svekkede avgiftningssystemer som blir overbelastet av overdreven oksidativt stress (Korkina, 2009; De Luca et al., 2014). Pasienter kan ha nevrologiske, nevrohormonelle og nevropsykiatriske symptomer etter eksponering for EMF som følge av nerveskader og oversensibiliserte nevralt responser (Dwyer and Leeper, 1978; Pall, 2016). EMF kan indusere endringer i kalsiumsignaleringskaskader (Liboff, 1984; Blackman et al., 1985; Smith et al., 1987; Pall, 2013, 2015), betydelig aktivisering av frie radikaler og overproduksjon av reaktive oksygenarter (ROS) i levende celler (Irmak et al., 2002; Zmyslony et al., 2004; Friedman et al., 2007; Blank and Goodman, 2009; De Iulius et al., 2009; Georgiou, 2010; Avci et al., 2012; Jing et al., 2012; Bilgici et al., 2013; Burlaka et al., 2013) så vel som endrede nevrologiske og kognitive funksjoner (Frey, 1961; Thomas et al., 1986; Carrubba et al., 2007; Nittby et al., 2009; Xu et al., 2010; Molot, 2013; Yakymenko et al., 2016; Pall, 2016; Kim et al., 2017) og forstyrrelse av blod-hjerne-barrieren (Salford et al., 2008; Nittby et al., 2009). Magnetittkrystaller absorberer fra luftforurensning fra forbrenning kan ha en viktig rolle i virkninger fra EMF på hjernen (Maher et al., 2016).

5. Konklusjon

I den moderne verden har eksponering for elektromagnetisk stråling blitt uunngåelig. Det er mange mennesker som utvikler uheldige helsevirkninger som følge av eksponering for EMF. Denne gjennomgangen av litteraturen har omfattet en rekke selvrapporterte nevrologiske og nevropsykiatriske symptomer som har en tidsmessig binding til EMF-eksponering. Ytterligere studier tyder på at EMF-eksponering kan være knyttet til endringer i hjernens blodstrøm som tilsvarer abnormiteter ved PET-skanning av hjernen. Noen av forskerne har til og med lokalisert hjerneabnormalitetene til tinninglappen, som er antatt å være det stedet som er nærmest ved eksponering fra mobiltelefoner. På grunn av den utbredte bruken av EMF-teknologi, er det vanskelig å unngå eksponering.

Det er tydelig at mange individer har følsomhet for EMF som reduserer livskvaliteten og ofte fører til funksjonshemming. Ytterligere forskning må gjøres for å bedre sikkerheten ved mobiltelefoner og for å ta i bruk tryggere tilgang til internett, spesielt på skoler der barn er utsatt i mange timer. Mer relevante diagnostiske tester for EHS bør utvikles. Eksponeringsgrensene bør senkes for å beskytte mot biologiske virkninger av EMF. Spredningen av lokale og globale trådløse nettverk bør reduseres, og for å beskytte mottakelige samfunnsmedlemmer bør det brukes kablede nettverk, som er tryggere, i stedet for trådløse. Offentlige steder bør gjøres tilgjengelige for el-overfølsomme personer.

Erklæring om interessekonflikter

Forfatterne erklærer at de ikke har noen interessekonflikter.

Takk

Forskningen på EHS ble delvis støttet av Environmental Health Trust, USA og av Yael Pitun Fund for Environmental Research, Israel. Forfatterne takker Dr. Devra Davis for hennes støtte og oppmuntring. Vi takker prof. Charles Greenblatt for hans vedvarende diskusjoner om virkningene av magnetitt. Vi takker Amir Bornstein, Dafna Tachover og andre som lider av EHS for at de presser oss til å lære mer om el-overfølsomhet.

Referanser

- Austrian Medical Association, 2012. Guideline of the Austrian Medical Association for the Diagnosis and Treatment of EMF Related Health Problems and Illnesses (EMF Syndrome). Consensus Paper of the Austrian Medical Association's EMF Working Group (AG-EMF). pp. 17. <http://www.magdahavas.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/Austrian-EMF-Guidelines-2012.pdf>.
- Avci, B., Akar, A., Bilgici, B., Tuncel, O.K., 2012. Oxidative stress induced by 1.8 GHz radio frequency electromagnetic radiation and effects of garlic extract in rats. *Int. J. Radiat. Biol.* 88, 799–805.
- Baliatas, C., Van Kamp, I., Lebre, E., Rubin, G.J., 2012. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF): a systematic review of identifying criteria. *BMC Publ. Health* 12, 643–646.
- Bandara, P., Carpenter, D.O., 2018. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *Lancet. Planet. Health* 2 (12). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221-3).
- Belpomme, D., Irigaray, P., 2020. Electrohypersensitivity as a newly identified and characterized neurologic pathological disorder: how to diagnose, treat, and prevent it. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 1915. <https://doi.org/10.3390/ijms21061915>.
- Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., Kern, M., Kundi, M., Moshhammer, H., Lercher, P., Müller, K., Oberfeld, G., Ohnsorge, P., Pelzmann, P., Scheingraber, C., Thill, R., 2016. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev. Environ. Health* 31 (3), 363–397.
- Belpomme, D., Campagnac, C., Irigaray, P., 2015. Reliable disease biomarkers characterizing and identifying electrohypersensitivity and multiple chemical sensitivity as two etiopathogenic aspects of a unique pathological disorder. *Rev. Environ. Health* 30 (4), 251–271.
- Bergqvist, U., Vogel, E., Solna, D.G.V., 1997. Possible Health Implications of Subjective Symptoms and Electromagnetic Fields: a Report by a European Group of Experts for the European Commission. European Commission DG V, Sweden Report No. 19.
- Bilgici, B., Akar, A., Avci, B., Tuncel, O.K., 2013. Effect of 900 MHz radiofrequency radiation on oxidative stress in rat brain and serum. *Electromagn. Biol. Med.* 32, 9–20.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Rabinowitz, J.R., House, D.E., Joines, W.T., 1985. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics* 6 (4), 327–337.
- Burlaka, A., Tsybulin, O., Sidorik, E., Lukin, S., Polishuk, V., Tsehmistrenko, S., Yakymenko, I., 2013. Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation. *Exp. Oncol.* 35 (3), 219–225.
- Blank, M., Goodman, R., 2009. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology* 16 (2/3), 8–71.
- Carpenter, D.O., 2015. The microwave syndrome or electro-hypersensitivity: historical background. *The microwave syndrome or electro-hypersensitivity: historical background. Rev. Environ. Health* 30 (4), 217–222.
- Carrubba, S., Frilot, I.I.C., Chesson Jr., A.L., Marino, A.A., 2007. Evidence of a nonlinear human magnetic sense. *Neuroscience* 144 (1), 356–367.
- Conrad, R.H., 2013. Smart Meter Health Effects Survey and Report. <http://www.maincoalitiontostopsmartmeters.org/wp-content/uploads/2013/02/Exhibit-D-SmartMeter-Health-Effects-Report-w-AppendicesV3-1-9Reduced-Appendices.pdf>.
- Datta, S., Nelson, V., Simon, S., 2016. Mobile phone use pattern and self-reported health problems among medical students. *J. Evol. Med. Dent. Sci.* 5 (21), 1116–1119.
- De Iulius, G.N., Newey, R.J., King, B.V., Aitken, R.J., 2009. Mobile phone radiation

- induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa *in vitro*. *PLoS One* 4, e6446.
- De Luca, C., Thai, J.C.S., Raskovic, D., Cesareo, E., Caccamo, D., Trukhanov, A., Korkina, L., 2014. Metabolic and genetic screening of electromagnetic hypersensitive subjects as a feasible tool for diagnostics and intervention. *Mediat. Inflamm.* 14 Article ID 924184.
- Dodge, C.H., 1969. Clinical and hygienic aspects of exposure to electromagnetic fields. Biological effects and health implications of microwave radiation. A review of the Soviet and Eastern European literature. In: *Symposium Proceedings*, pp. 17–19 Richmond, VA, September.
- Dwyer, R.J., Leeper, D.B., 1978. A Current Literature Report on the Carcinogenic Properties of Ionizing and Nonionizing Radiation. DHEW Publication (NIOSH), pp. 78–134.
- Eltiti, S., Wallace, D., Zougkou, K., Russo, R., Joseph, S., Rasor, P., Fox, E., 2007. Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire. *Bioelectromagnetics* 28, 137–151.
- Frey, A.H., 1961. Auditory system response to modulated electromagnetic energy. *J. Appl. Phys.* 17, 689–692.
- Friedman, J., Kraus, S., Hauptman, Y., Schiff, Y., Seger, R., 2007. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem. J.* 405 559–68.
- Glaser, Z., 1972. Bibliography of Reported Biological Phenomena ("effects") and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and Radio-Frequency Radiation. Research Report No. 2, Revised, AD750275. Naval Medical Research Institute, National Naval Medical Center, Bethesda, MD.
- Georgiou, C.D., 2010. Oxidative stress-induced biological damage by low-level EMFs: mechanism of free radical pair electron spin-polarization and biochemical amplification. In: In: Giuliani, L., Soffritti, M. (Eds.), *Nonthermal Effects and Mechanisms of Interaction between Electromagnetic Fields and Living Matter*, vol. 5. Ramazzini institute, Bologna (IT), pp. 63–113 *European Journal of Oncology – Library*.
- Haarala, C., Aalto, S., Hautzel, H., et al., 2003. Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans. *Neuroreport* 14 (16), 2019–2023.
- Havas, M., 2013. Radiation from wireless technology affects the blood, the heart, and the autonomic nervous system. *Rev. Environ. Health* 28 (2–3), 75–84.
- Huber, R., Treyer, V., Borbely, A.A., Schuderer, J., Gottselig, J.M., Landolt, H.P., Werth, E., Berthold, T., Kuster, N., Buck, A., Achermann, P., 2002. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Res.* 11, 289–295.
- Huber, R., Treyer, V., Schuderer, J., Berthold, T., Buck, A., Kuster, N., Landolt, H.P., Achermann, P., 2005. Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur. J. Neurosci.* 21, 1000–1006.
- Hutter, H.P., Moshhammer, H., Wallner, P., Cartellieri, M., Denk-Linnert, D.M., Katzinger, M., Ehrenberger, K., Kundi, M., 2010. Tinnitus and mobile phone use. *Occup. Environ. Med.* 67 (12), 804–808.
- Irmak, M.K., Fadilloğlu, E., Gulec, M., Erdogan, H., Yagmurca, M., Akyol, O., 2002. Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits. *Cell Biochem. Funct.* 20, 279–283.
- Irvine, N., 2005. Definition, Epidemiology and Management of Electrical Sensitivity: Report for the Radiation Protection Division of the Health Protection Agency. Oxfordshire, UK Report No. 10.
- Jing, J., Yuhua, Z., Xiao-Qian, Y., et al., 2012. The influence of microwave radiation from cellular phone on fetal rat brain. *Electromagn. Biol. Med.* 31, 57–66.
- Johansson, O., 2006. Electrohypersensitivity: state-of-the-art of a functional impairment. *Electromagn. Biol. Med.* 25, 245–258.
- Johnson Liakouris, A.G., 1998. Radiofrequency (RF) sickness in the Lilienfeld study: an effect of modulated microwaves? *Arch. Environ. Health* 53, 226–228.
- Kaszuba-Zwoińska, J., Gremba, J., Gałdzińska-Calik, B., Wójcik-Iotrowicz, K., Thor, P.J., 2015. Electromagnetic field induced biological effects in humans. *Przegl. Lek.* 72 (11), 636–641.
- Kim, J.H., Yu, D.H., Huh, Y.H., Lee, E.H., Kim, H.G., Kim, H.R., 2017. Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice. *Sci. Rep.* 7, 41129.
- Korkina, L., 2009. The chemical defensive system in the pathobiology of idiopathic environment-associated diseases. *Curr. Drug Metabol.* 10 (8), 914–931.
- Latreoliere, A., Woolf, C.J., 2009. Central sensitization: a generator of pain hypersensitivity by central neural plasticity. *J. Pain.* 10 (9), 895–926.
- Lerner, E.J., 1980. 1980 RF radiation: biological effects. *IEEE Spectrum* 17, 51–59.
- Liboff, A.R., 1984. Cyclotron resonance in membrane transport. In: Chiabrera, A., Nicolini, C., Swann HP. (Eds.), *Interaction between Electromagnetic Fields and Cells*. Erice, Italy. NATO ASI Series A97, Plenum, New York, pp. 281–296.
- Maher, B.A., Ahmed, I.A.M., Karloukovski, V., MacLaren, D.A., Foulds, P.G., Allsop, D., Mann, D.M.A., Torres-Jardón, R., Calderon-Garciduenas, L., 2016. Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113 (39), 10797–10801. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605941113>.
- McCarty, D.E., Carrubba, S., Chesson, A.L., Frilot, C., Gonzalez-Toledo, E., Marino, A.A., 2011. Electromagnetic hypersensitivity: evidence for a novel neurological syndrome. *Int. J. Neurosci.* 121, 670–676.
- Mild, K.H., Repacholi, M., van Deventer, E., Ravazzani, P., 2004. *Electromagnetic Hypersensitivity: Proceedings, International Workshop on EMF Hypersensitivity*. WHO Press, World Health Organization, Prague, Czech Republic 97892411594127 2006.
- Mohamed, H., Satar, M., Talaat, A., 2014. Effect of instructional guidelines on students, practices regarding safe use of cell phone. *Life Sci.* 111, 486–494.
- Molot, J., 2013. 12,000 Canaries Can't Be Wrong. Establishing the New Era of Environmental Medicine. *EnviroHealth Publications*, Canada.
- Nittby, H., Brun, A., Eberhardt, J., Malmgren, L., Persson, B.R., Salford, L.G., 2009. Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiology* 16 (2–3), 103–112.
- Overstreet, D.H., 2001. A genetic rat model of cholinergic hypersensitivity: implications for chemical intolerance, chronic fatigue, and asthma. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 933, 92–102.
- Pall, M.L., 2013. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J. Cell Mol. Med.* 17 (8), 958–965.
- Pall, M.L., 2015. Review: scientific evidence contradicts findings and assumptions of Canadian safety panel 6: microwaves act through voltage gated calcium channel activation to induce biological impacts a nonthermal levels, supporting a paradigm shift for microwave/lower frequency electromagnetic field action. *Rev. Environ. Health* 30, 99–116.
- Pall, M.L., 2016. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *J. Chem. Neuroanat.* 75, 43–51.
- Panda, N.K., Jain, R., Bakshi, J., Munjal, S., 2010. Audiologic disturbances in long-term mobile phone users. *J. Otolaryngol Head Neck Surg* 39 (1), 5–11.
- Pollack, H., Healer, J., 1967. Review of Information on Hazards to Personnel from High-Frequency Electromagnetic Radiation. Internal Note N-451. Institute for Defense Analysis, Research and Engineering Support Division, Arlington, VA IDA/HQ 67-6211, series B.
- Reeves, G.I., 2000. Review of extensive workups of 34 patients overexposed to radio-frequency radiation. *Aviat Space Environ. Med.* 71, 206–215.
- Rööslj, M., 2008. Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review. *Environ. Res.* 107, 277–287.
- Sage, C., 2015. The implications of non-linear biological oscillations on human electrophysiology forelectrohypersensitivity (EHS) and multiple chemical sensitivity (MCS). *Rev. Environ. Health* 30 (4), 293–303.
- Salford, L.G., Nittby, H., Brun, A., Grafstrom, G., Malmgren, L., Sommarin, M., Eberhardt, J., Widegren, B., Persson, B.R.R., 2008. The mammalian brain in the electromagnetic fields designed by man with special reference to Blood-Brain Barrier function, neuronal damage and possible physical mechanisms. *Prog. Theor. Phys. Suppl.* (173), 283–309.
- Silverman, C., 1973. Nervous and behavioral effects of microwave radiation in humans. *Am. J. Epidemiol.* 97, 219–224.
- Smith, S.D., McLeod, B.R., Liboff, A.R., Cooksey, K., 1987. Calcium cyclotron resonance and diatom motility. *Bioelectromagnetics* 8 (3), 215–227.
- Soffritti, M., 2010. Preface to. In: In: Giuliani, L., Soffritti, M. (Eds.), *Non-thermal Effects and Mechanisms of Interaction between Electromagnetic Fields and Living Matter*, vol. 5. Ramazzini institute, Bologna (IT), pp. 63–113. *European Journal of Oncology – Library*. <http://www.icems.eu/papers.htm?f=/c/a/2009/12/15/MNH1B49KH.DTL>.
- Szyjkowska, A., Gadzicka, E., Szymczak, W., Bortkiewicz, A., 2014. The risk of subjective symptoms in mobile phone users in Poland—an epidemiological study. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 27 (2), 293–303.
- Thomas, J.R., Schrot, J., Liboff, A.R., 1986. Low-intensity magnetic fields alter operant behavior in rats. *Bioelectromagnetics* 7 (4), 349–357.
- Tuengler, A., von Klitzing, L., 2013. Hypothesis on how to measure electromagnetic hypersensitivity. *Electromagn. Biol. Med.* 32 (3), 281–290.
- Volkow, N.D., Tomasi, D., Wang, G.J., Vaska, P., Fowler, J.S., Telang, F., Alexoff, D., Logan, J., Wong, C., 2011. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *J. Am. Med. Assoc.* 305 (8), 808–813.
- Xu, S., et al., 2010. Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. *Brain Res.* 1311, 189–196.
- Yakymenko, I., Sidorik, E., Tsybulin, O., Chekhun, V., 2011. Potential risks of microwaves from mobile phones for youth health. *Environ. Health* 56 (1), 48–51.
- Yakymenko, I., Mor, O., Tsybulin, O., et al., 2015. Subjective symptoms in young cell phone users in Ukraine. *Environ. Health (Nagpur)* (2), 40–43.
- Yakymenko, I., Tsybulin, O., Sidorik, E., Henshel, D., Kyrlyenko, O., Kyrlyenko, S., 2016. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn. Biol. Med.* 35 (2), 186–202.
- Zheng, F., Gao, P., He, M., 2015. Association between mobile phone use and self-reported well-being in children: a questionnaire-based cross-sectional study in Chongqing, China. *BMJ open* 5 (5), e007302.
- Zmyslony, M., Politanski, P., Rajkowska, E., et al., 2004. Acute exposure to 930MHz CW electromagnetic radiation *in vitro* affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* 25, 324–328.