

Elektrobiologisk Selskab

- www.elektrobiologi.dk -

Forskningsorientering #1 - Elektrobiologisk Selskab 2017

Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og
elektromagnetiske felter

Kim Horsevad

2017

Indhold:

Overordnede biofysiske sammenhænge.....	3
Molekylær polaritet og dipolmoment i et elektomagnetisk felt:.....	9
Makromolekylers foldning og strukturelle konformitet.....	12
Vridningsresonans i makromolekyler:.....	17
Calcium efflux:.....	20
Frie radikaler:.....	23
Dielektriske virkninger på cellulært niveau:.....	34
HSP'ere, Fraktalantenner og elektronbaseret DNA-interaktion.....	37
Referencer.....	41

Overordnede biofysiske sammenhænge

En hastigt øgende vidensmængde om kvantelektrodynamiske virkninger på biokemiske strukturer på atomart og molekylært niveau åbner i dag mulighed for en langt dybere forståelse af interaktionsmuligheder mellem biologiske systemer og elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter end tidligere. De kvanteelektrodynamiske perspektiver i systembiologien kan vise sig at give anledning til lige så store erkendelsesmæssige spring i biologiske systemers natur som Københavnerfortolkningen gjorde i forhold til springet fra den klassiske fysiks determinisme.

Magnetfelter kan i meget høj grad gennemtrænge hele den menneskelige fysiologi, men idet de forholdsvis stærke dielektriske egenskaber ved de cellulære membraner forholdsvis effektivt blokerer elektriske felter fra at penetrere til cellens cytoplasma, er cellulære reaktioner på eksponeringen derfor medieret gennem initiering af signalkaskader fra cellens yderside (Markov, 2007).

Selv svage magnetfelters betydelige indflydelse på menneskekroppen er blandt andet dokumenteret ved statistisk signifikant forøget mængde af psykiatiske indlæggelser, epileptiske anfald og perioder med forhøjet geomagnetisk aktivitet (Friedman et al., 1963; Venkatraman, 1976; Rajaram and Mitra, 1981), ligesom det samtidigt er påvist, at perioder med formindsket geomagnetisk aktivitet påvirker mennesker med psykiske problemer (Kay, 2004), og at geomagnetiske ændringer kan korreleres til selvmordsraten hos kvinder (Berk et al., 2006). Samtidigt er det påvist, at skærmning fra jordens naturlige magnetfelt skaber væsentlige forstyrrelse i cirkadiske rytmer, samt at disse kan genskabes ved et artificielt felt på 10Hz (Wever, 1970).

Den klassiske biologis forståelse af biologiske organismer bliver tydeligvis udfordret, når der påvises signifikant indflydelse fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter adskillige størrelsesordener under kT -grænsen, idet man i klassisk henseende har opfattet påvirkninger, som energimæssigt har et mindre niveau end de "Brownske" bevægelser (molekylebevægelser pga varme), som insignifikante i forhold til biologisk påvirkningspotentialer. Man ved i dag, at denne opfattelse er problematisk, idet biologiske systemer har en langt højere kompleksitet, end der kan beskrives ved simpel termodynamik - ud over at de termodynamiske beskrivelser kun gælder for systemer i termisk equilibrium, hvilket ikke er tilfældet for levende systemer (Binhi and Rubin, 2007):

It is proved that the kT problem is misleading in its traditional wording; it cannot be an argument in favor of the idea that magnetobiological effects are not possible physically. Possible mechanisms of magnetobiological effects, which directly address the kT paradox, include: (i) stochastic nonlinear dynamics of magnetosomes in biological tissues; (ii) interference of the angular modes of long-living molecular states; (iii) radical pair

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

mechanism; and (iv) proton-exchange mechanism related to the metastable states of the proton subsystem in liquid water. The main principles that underlie these mechanisms are probabilistic character of magnetic effects and non equilibrium state of weak MF molecular targets. This unequivocally shows that biological effects of weak ELF magnetic fields are not at variance with physical laws and may be explained in terms of classical and quantum physics.

--- Binhi, V., Rubin, A., 2007, p60

Levende systemer er åbne systemer, og er således ikke nødvendigvis i ligevægt med deres omgivelser og kan derfor lokalt have systemer med mindsket entropi. Endelig er der resultater, der stiller tvivl ved selve validiteten af den klassiske kT-beregning for biologiske systemer, idet den ikke medtager den væsentlige reduktion (1-2 størrelsesordener) i kT-grænsen, der medieres af elektrisk ledningsevne i connexin-baserede forbindelseskanaler på cellulært niveau. (Pilla et al., 1992)

Den klassiske opfattelse ses derfor i dag vige for en mere moderne forståelse, inddragende resultater fra især elektrodynamik og kvanteelektrodynamik.

Een mulig påvirkningsmekanisme for magnetfelter langt under kT-grænsen er begrundet i Hall-effekten (via Lorentz-kræfter udøvet på de enkelte elektroner) og Larmor-præcessionen begrundet i (eksempelvis antropogene) varierende magnetfelter overlejret det naturlige (terrege) geomagnetiske felt, hvorved den præcederende bevægelse i Larmor-frekvensen moduleres af magnetfeltet, hvorved bindingskinetikken i pågældende molekylestruktur kan modificeres. Eksperimentelt kan man dokumentere signifikante vækstændringer allerede ved variende magnetfelter på 10-100nT, når disse overlejres et statisk magnetfelt i samme størrelsesorden som det geomagnetiske (Pazur et al., 2006, 2007).

Sådanne interaktioner kan foregå langt under de termiske grænser, som tidligere stipuleret af den "klassiske" biologi og biofysik, idet ganske svage magnetfelter herved har vidtrækkende påvirkningspotentiale på biokemiske systemer på det molekylærkemiske niveau. (Edmonds, 1993; Muehsam & Pilla, 1996; Pilla et al., 1999). Samtidigt bemærkes det, at denne forklaringsmodel giver en begrundelse for de observerede påvirkninger, samt en mekanistisk beskrivelse af hvorledes svage magnetfelter kan forårsage væsentlige biokemiske ændringer selv i situationer med termisk påvirkning, som energimæssigt er adskillige størrelsesordener højere (Pilla et al., 1997). Et endnu videre perspektiv er muligheden for, hvorvidt Larmor præcessionen ved svage magnetfelters påvirkning af vandmolekyler i videre grad kan modulere biologiske systemer gennem forårsagede ændringer i vandopløsnings molekylærkemiske forhold (Pilla, 2003). Enkelte eksperimentelle resultater synes at dokumentere sådanne ændringer (Berton et al., 1993; Lundager, 1995), hvoraf nogle har en varighed på adskillige døgn efter magnetfeltseksponeringen er ophørt. Samtidigt er der påvist ændringer i vandmolekylers

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

indbyrdes bindingsforhold og styrken af hydrogenbindinger ved magnetfeltseksposering (Zhou et al., 2000; Hosada et al., 2004) og registreret forhøjelse af vands smeltepunkt i stærke magnetfelter (Wang et al., 2007). Visse eksperimentelle (Grundler and Kaiser, 1992; Zhadin et al., 1999; Zhadin, 2000; Pazur, 2004; Belyaev, 2005; Lisi et al., 2006; Foletti et al., 2009) og teoretiske resultater (Preparata, 1995; Del Giudice et al., 2002; Zhadin & Giuliani, 2006) indikerer endda, at grundlæggende fysiske egenskaber for vand kan ændres afhængigt af den molekylærkemiske struktur, vandet indgår i, hvor vand omkring biomolekyler i visse tilfælde udviser kvantelektrodynamisk kohærens, hvilket mindsker den dæmpning, vandet ellers ville udøve på biomolekyleres resonanssvingning forårsaget af exogene elektromagnetiske signaler. Tilsvarende strukturændringer i vand foreslås i anden forskning (Forrester et al., 2007), og den franske nobelprismodtager Luc Montagnier (som opdagede HIV-virusset) har publiceret forskning, der viser, at vandstrukturer kan ændres/påvirkes af DNA-molekyler, samt at sådanne vandstrukturer udsender elektromagnetiske signaler med relation til DNA-molekylets struktur (Montagnier, 2015). Hvis Montagniers resultater holder, vil store dele af nuværende kemisk forståelse skulle revideres; det skal dog bemærkes at Montagniers resultater pt (2015) ikke er uafhængigt replikeret; men der er resultater, der understøtter en forståelse af, at cellers delingsrate påvirkes af elektromagnetiske signaler fra andre celler (Rossi et al., 2011).

Idet store dele af kroppen er elektrisk ledende, vil både hele menneskekroppen - og dele deraf - i større eller mindre omfang kunne fungere som antenne for eksterne elektromagnetiske felter. I den forbindelse er det værd at være opmærksom på, at forbindelseskanalerne mellem de enkelte celler i princippet forøger den enkelte celledes sensitivitet for udefrakommende elektromagnetiske felter, idet forbindelseskanalerne resulterer i en form for elektrisk forbindelse mellem de enkelte celler, således at det effektive modtageareal for de udefrakommende elektromagnetiske felter forøges væsentligt. Det bemærkes i denne forbindelse, at denne elektriske sammenkobling af celler, samt cellernes ofte elongerede struktur, bevirker væsentlige ændringer i cellens mulighed for at opfange eksterne elektromagnetiske signaler i forhold til de resultater, der fremkommer ved teoretiske beregninger på grundlag af elektrisk isolerede cirkulære cellemodeller. Forskningen indikerer i øvrigt en forbindelse mellem forbindelseskanalernes elektriske forbindelse mellem de enkelte celler og cellulær forstærkning af ekstracellulære elektromagnetiske signaler fra overfladen af cellen til cellens indre via calcium-ioner (Bawin et al., 1975; Bawin & Adey, 1976; Blackman et al., 1979, 1985).

Helt fra den tidlige begyndelse af den cellulære biologi har fænomenet galvanotaksi været kendt, hvorved et biologisk system retningspåvirkes af tilstedeværelsen af enten en anode eller en katode. I nyere forskning er det eksempelvis påvist, at nervecellers udløbere viser

vækst mod katoden. (McCaig et al, 2002).

Samme fænomen er påvist at have betydning ved cellulære reparationsprocesser - eksempelvis i hornhindeepitelet, hvor der findes et elektrisk potentialeforskel på 40-50mV (Reid et al., 2005). Ved beskadigelse af hornhindeepitelet kortsluttes det elektriske system, og der dannes en udadgående strøm med deraf følgende signaleffekter for cellerne involveret i reparationsprocessen. En meget definitiv påvisning af fænomenet publiceredes i Nature, hvor et forsker-team (Zhao et al., 2006) kunne ændre retningen af sårheling ved at ændre retningen af det exogene elektriske felt. Senere forskning har kortlagt specificeretheden af enkelte gener i forhold til elektrisk felt-induceret cellemigration, idet eksperimentel blokering af phosphatidylinositol-3-OH kinase fjerner den elektrisk felt-inducerede cellemigration (Levin, 2007), men allerede inden havde anden forskning påvist, at visse proteiner (phosphoinositide phosphatase) fungerer som direkte sensorer for elektriske felter (Murata et al., 2005).

Elektriske felter har således grundlæggende betydning som mediator og igangsætter af biologiske signalkaskader i mange former for både normale cellefysiologiske sammenhænge og patologiske processer som sårheling, angiogenese, svulstdannelse og dannelse af metastaser. (McCaig et al., 2005). Ved beskadigelse af biologiske strukturer som epiteler dannes eller ændres det elektriske felt, hvilket giver mulighed for, at signalering via elektriske felter er den tidsmæssigt førstkommende faktor for igangsættelse af cellemigrering i forhold til reparationsmekanismer (Nuccitelli, 2003; Ojingwa & Isseroff, 2003). Processen, hvormed exogene elektriske felter igangsætter intracellulære signalkaskader, er i hvert fald i nogen grad påvist at være medieret gennem Ca^{2+} -ioner (Sun et al., 2004). Det bemærkes, at det ved beskadigelse dannede endogene elektriske felt har en tidsmæssig udstrækning over flere timer og en spatial udstrækning på flere hundrede mikrometer, og at det elektriske felt forsvinder efter re-epitelisering (McCaig et al., 2005).

Endvidere er der iagttaget spatial orientering af cytokinese i forhold til exogene elektriske felter (McCaig et al., 1999) og ændringer af spaltningorientering i tidligt stadium i frø-æg ved eksponering for exogene magnetfelter begrundet i magnetfeltsændret orientering af mitotiske strukturer og deraf følgende omarrangering af centrosom-replikeringen og de tilhørende processer (Valles, 2002)

Exogene elektriske felter har samtidigt påvirkingspotentiale til at ændre cellens delingscyklus, idet felter på 2 V/m stopper cellens udviklingscyklus ved G1/S-fasen (Wang et al., 2003).

Elektriske felter i mindre størrelser har dog også mulighed for at igangsætte celledeling - det er endda påvist, at elektriske felter kan igangsætte regenereringsprocesser i væv, der normalt ikke regenererer (Borgens, et al. 1989; Nuccitelli, 2003). Regeneration og dedifferentiering er af stor interesse, idet sådan regeneration involverer dedifferentiering af allerede differentierede celler i forbindelse med regenereringsprocessen (Becker, 2002; Stocum, 1997). De dedifferentierede celler er essentielt set stamceller, som herefter kan redifferentiere i forhold til gendannelse af det tabte væv. Samtidigt er det påvist, hvorledes endogene elektriske felter er ansvarlige for igangsættelse af dedifferentiering (Becker, 1961, 2002; Becker & Murray, 1970), og hvorledes svage elektriske felter kan influere på cellulære Ca^{2+} oscillationer og dermed initiere signalkaskader, der faciliterer hMSC (mesenkymale stamceller) til differentiering (Sun et al., 2007).

Ud over at celler, cellulære processer og molekylærkemiske forhold påvirkes af exogene og/eller endogene elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter, findes der samtidigt eksperimenter, der afdækker endogen fotonudsendelse fra cellulære processer. I en række tidlige eksperimenter påvistes det, at mitoseraten for rodceller fra løg påvirkes af, hvorvidt pågældende løgceller er placeret i umiddelbar nærhed af andre lignende rodceller. Påvirkningen fastholdes, når cellerne er kemisk isolerede fra hinanden; men ikke når cellerne er isolerede fra hinanden af almindelig glas. Ved benyttelse af beholdere af kvarts genfindes påvirkningen (Gurwitsch, 1923, 1924). Idet UV-lys kan trænge gennem kvarts, men ikke glas, gav eksperimenterækken anledning til en hypotese, hvor påvirkningen af mitoseraten medieredes af en form for elektromagnetisk stråling udsendt fra cellerne.

Senere påvistes ændringer i spektralkurver for det udsendte lys afhængig af fysiologiske ændringer i cellen (Gurwitsch & Gurwitsch, 1959). På samme tid havde teknologien gjort det muligt at registrere særdeles små mængder af lys, hvilket gav baggrund for opdagelsen af lysudsendelse fra spirende frø (Colli & Facchini, 1954; Colli et al., 1955).

I dag er forekomsten af lysudsendelse fra biologiske systemer et velgennemprøvet faktum; mens den biologiske signifikans deraf stadig debatteres. En øgende datamængde fra uafhængige eksperimenter antyder dog, at cellulært genereret fotonudsendelse (i forskellige frekvenser) formentlig har biologisk signifikans. (Cifra et al., 2011). Lysudsendelsen benævnes af nogle forskere som "biofotoner", mens andre foretrækker den lidt mere denotative tekniske beskrivelse "Ultra Weak Photon Emission" - ofte forkortet UPE. Niveauet af UPE ligger sædvanligvis mellem nogle enkelte og flere tusinde fotoner pr kvadratcentimeter pr sekund, regnet med nulpunkt i den termiske støj. Niveauet af UPE hæves, når cellen udsættes for fysiologiske ændringer i forhold til eksempelvis termisk, mekanisk eller kemisk stress (Pohl et al., 1981; Slawinski, 1990, 2003), mens et kraftigt forhøjet niveau ofte iagttages umiddelbart, når en celle beskadiges irreversibelt (Slawinski,

2005). Endvidere er det påvist, at mønstre i UPE kan korreleres til, hvilke mitotiske stadier cellen befinder sig i. (Konev et al., 1966; Quickenden & Que Hee, 1974, 1976; Quickenden & Tilbury, 1983, 1991).

Mekanismen for fotonudsendelse foreslås - i det omfang som ligger over niveauet for et sort legeme med samme temperatur - at være relateret til cellens mikrotubuli (Pokorný et al., 2008; Cifra et al., 2010), som kan have vibrationsresonans i områder rækkende fra få kHz til flere GHz (Sirenko et al., 1996; Wang et al., 2006; Wang & Zhang, 2008; Gu et al., 2009; Wang et al., 2009; Portet et al., 2005). Energiltførslen kan stamme fra mitochondrier langs mikrotubuli, idet mitochondrier (begundet i protongradienter) har en stærkt elektrisk felt på ca 100V/m (Tyner et al., 2007), og kan samtidigt stamme fra energitab ved ATP-produktion, idet denne proces kun har en energieffektivitet på ca 40%, og der i forvejen er registreret fotonudsendelse herfra i det infrarøde og visuelle spektrum (Hideg et al., 1991).

Fotonudsendelse fra celler er registreret i flere forskellige områder af det elektromagnetiske spektrum. Der er fundet signaler i området 7-80MHz (Jafary-Asl & Smith, 1983; Del Giudice et al., 1989) og i området 7-33kHz (Pohl & Pollock, 1986). Under mitose er der registreret signaler i MHz-området (Jelínek et al., 1999, 1996; Pokorný et al., 2001), men kun begrænsede signaler i GHz-området (Jelínek et al., 2002, 2005, 2007; Kucera, 2006).

I øvrigt er nuværende målingsteknologi primært orienteret mod far-field, hvorfor målinger af EMF/UPE fra celler i princippet ikke foretages i near-field, selv om de cellulære og molekylærbiologiske forhold, fotonemissionen eventuelt kan påvirke formentlig udelukkende findes i near-field afstand, hvilket er med til at vanskeliggøre forskningen i området, herved at feltet i near-field udviser kaotisk natur, hvorfor et forsøgssetup med reliable målinger med høj reproducerbarhed bliver særdeles komplekst i udformning.

Interaktionsmuligheder mellem biologiske systemer og elektriske, magnetiske og elektromagnetiske signaler og felter er således dokumenteret med høj sikkerhed i mange forskellige henseender; men den samlede forståelse mangler desværre endnu, og idet de forskellige interaktionsmuligheder er uhyre komplekse at udforske, vil det forventeligt vare årtier, inden en fuldstændig forståelse af biologiske og elektromagnetiske interaktionsmuligheder er inden for forskningsmæssig rækkevidde.

Molekylær polaritet og dipolmoment i et elektromagnetisk felt:

Som enhver kan huske fra grundskolens fysikundervisning består vand af en sammensætning af hydrogen (brint) og oxygen (ilt). Nærmere betegnet går der to hydrogen-atomer og et ilt-atom til et vandmolekyle.

Som det ligeledes erindres fra fysikundervisningen, er molekylerne elektrisk neutrale udadtil, idet elektronernes negative ladning opvejer protonernes positive ladning.

I grundskolens fysikundervisning når man sjældent længere end til denne ret primitive forståelse af molekylerne, men i forhold til elektromagnetisk interaktion med biologiske systemer er det væsentligt at introducere endnu et begreb, nemlig molekylernes polaritet.

Polariteten forårsages af en egenskab benævnt elektronegativitet, hvor elektronerne i et givet molekyle koncentrerer sig om et eller flere atomer, hvorved der opstår ladningsforskelle over molekylets fysiske udstrækning.

Dette kan eksemplificeres ved et vandmolekyle, hvor hovedparten af elektronerne er koncentreret om ilt-atomet, som er henved 16 gange tungere end hydrogen-atomet. Herved opstår en polaritet, hvor den negative pol er koncentreret om ilt-atomet, og de to positive poler er koncentreret om de to hydrogen-atomer. Den polære struktur giver således anledning til, at vandmolekylet har et permanent dipolmoment.

Polære strukturer findes i mange kemiske strukturer og kan iagttages i mange hverdagsfænomener. Når man eksempelvis ikke umiddelbart kan blande vand og olie, skyldes det, at vandet er polært, mens olien er upolær.

For nogle af de større molekyler, der findes i biologien, kan polaritetsstrukturer være direkte komplekse. Eksempelvis har mange proteiner både upolære og polære elementer, men deres foldning betinger ofte, at de upolære elementer foldes inderst i molekylet, således at ydre, polære elementer giver en vis grad af opløselighed i vand.

Det er velkendt, at samme polaritet frastøder, mens forskellig polaritet tiltrækker. Det samme forhold gør sig gældende, når et polært molekyle udsættes for et elektromagnetisk felt, hvor molekylet, i den grad, pågældende materiales struktur tillader, orienteres efter det elektromagnetiske felt.

For vands vedkommende er mikrobølgespektret ganske passende til at forårsage orienteringsændringer, hvilket kan iagttages i en almindelig mikrobølgeovn.

Molekylebevægelser er som bekendt ensbetydende med temperatur, hvorfor en større mængde molekylebevægelse selvfølgelig også tilsvarende en temperaturforhøjelse. Ved højere frekvenser kan molekylet ikke nå at ændre orientering, og ved lavere frekvenser sker orienteringsændringen forholdsvis langsomt - i ingen af disse situationer produceres væsentlige mængder varme.

Selv ved eksponering for mikrobølgestråler i så lave intensiteter, at de ikke kan forårsage målbar opvarmning, vil der således stadig være et vist niveau af orienteringsændringer i polære molekyler. For fuldt ud at forstå, hvorledes sådanne orienteringsændringer kan påvirke biologiske strukturer, er det hensigtsmæssigt at erindre, at de frekvenser, der bruges i mikrobølgebaseret trådløs kommunikation, sædvanligvis ligger mellem 800MHz og 2400MHz. Som nævnt i foregående kapitel betyder disse tal altså, at amplituden i den elektromagnetiske bølge svinger fra positiv til negativ mellem 800 millioner og 2400 millioner gange i løbet af eet sekund. Vandmolekylerne, de polære proteiner, og øvrige polære organiske molekyler bringes altså i svingningsstruktur, hvor deres orientering potentielt ændres flere hundrede millioner gange i sekundet, hvilket selvfølgelig kan have ganske udtalte konsekvenser for de biologiske funktioner af pågældende molekyler.

Man kan i øvrigt selv - på ganske lavpraktisk måde - forvisse sig om, at vand påvirkes af elektromagnetiske felter. Hvis man lader vandhanen løbe - ganske stille - og derefter langsomt fører et elektrostatisk opladet materiale hen mod vandstrålen, vil man kunne iagttage en afbøjning, som - afhængig af vandstrålens tykkelse og den elektrostatiske opladning - kan andrage flere centimeter.

Et andet forhold, som har betydning i forbindelse med de elektromagnetiske felters påvirkning af biologiske systemer, er påvirkningen af hydrogenbindingerne, som er baseret på elektrostatiske vekselvirkninger mellem hydrogenatomer (elektropositive) og fluor-, oxygen- og nitrogen-atomer (elektronegative).

Hvis vi fortsat bruger vand som eksempel, vil det umiddelbart kunne overskues, at vandmolekyler kan binde sig til hinanden i en given struktur, derved at hydrogen-atomet i eet molekyle har en positiv ladning, mens oxygen-molekylet i andet molekyle har en negativ ladning. Der opbygges således en struktur mellem de enkelte vandmolekyler, hvilket er ganske afgørende for mange af de reaktioner, vand indgår i.

Effekten af hydrogenbindingerne kan i øvrigt iagttages på ganske lavpraktisk måde, derved at vi alle kender, hvorledes overfladespændingen i vand tillader, at man fylder et glas vand til lidt op over kanten. Overfladespændingen er netop forårsaget af hydrogenbindingerne, altså bindinger mellem de forskellige vandmolekylers positive og negative elementer.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Beregnet rent kemisk er vandmolekylet særdeles reaktionsvilligt, men tilstedeværelsen af hydrogenbindingerne formindsker denne reaktionsvillighed ganske betydeligt, hvilket har stor betydning i forbindelse med vands funktioner i biologiske systemer. Elektromagnetiske felter kan reducere hydrogenbindingerne, hvilket forøger vandets reaktionsvillighed betydeligt, men forholdet er muligvis endnu mere komplekst, derved at ændringen i hydrogenbindingerne muligvis er afhængig af feltets retning, således at hydrogenbindinger i feltets retning styrkes, mens hydrogenbindinger, der ligger ortogonalt mod feltet svækkes (Vegiri, 2004). Vegiris studier er dog foretaget på grundlag af forholdsvis høje elektriske felter, men et nyere forskningsresultat fra Estland (Hinrikus, et al., 2014) viser tilsvarende, at vands viskositet (og dermed diffusionsrate) kan påvirkes af svage mikrobølger. Studiets forfattere påpeger, at denne forholdsvis simple sammenhæng i høj grad kan være med til at forklare de skadevirkninger, der kan opstå ved eksponering for mikrobølger i non-termiske intensiteter:

Our experimental data demonstrated that microwave exposure makes faster the process of diffusion in water. The time required for reduction of initial resistance of the solution by 10% was 1.7 times shorter with microwave. This result is consistent with the proposed mechanism of low-level microwave effect: microwave radiation, rotating dipolar water molecules, causes high-frequency alterations of hydrogen bonds between water molecules, thereby affects its viscosity and makes faster diffusion.

--- Hinrikus, et al., 2014, p1

I et sindrigt udtænkt forsøg påviste et russisk forskerhold allerede for tyve år siden, hvorledes grundegenskaber for destilleret vand kan ændres ved eksponering for mikrobølgestråling (Fesenko, Evgenii; Gluvstein, Alexander Ya., 1995). Deres eksperiment var baseret på specielle kapacitorer med destilleret vand som dielektrisk medie. Ved mikrobølgebestråling af det anvendte vand ændredes effektæthedsspektrummet for spændingsfluktuationerne ved afladning af kapacitoren.

Ethvert elektrisk eller elektromagnetisk felt, som giver anledning til, at vandmolekylerne forsøger at re-orientere sig efter dette felt, vil således forårsage brydning af nogle af hydrogenbindingerne, hvilket påvirker vands reaktionsvillighed og opløsningsevnen. (Novikov & Fesenko, 2001, 2003)

I stor grad er stoftransporten på intracellulært niveau afhængig af diffusionsprocesser, hvorfor forholdsvis simple ændringer i diffusionsrate og reaktionsvillighed kan have systemiske virkninger. Påvirkningsmekanismen er således indirekte og non-termisk.

Makromolekylers foldning og strukturelle konformitet:

Vandmolekylet er ikke det eneste polære molekyle i kroppen - mange af proteinerne er foldet således, at deres polære elementer vender udad. Proteiner og andre makromolekyler påvirkes således også af forholdsvis svage mikrobølger, eksempelvis gennem ændringer i proteinkonformiteten begrundet i molekylets konstante re-orientering, idet mange af detaljerne i foldningen af makromolekyler er baseret på forskellige forholdsvis svage bindinger. Foldningsstrukturer er af afgørende vigtighed for proteiners funktion, specificiteten af enzymer og antistoffer og i forbindelse med den molekylære opbygning af biologiske membraner.

Samtidigt kan forskellige af makromolekylerne optræde i både en højrevendt og venstrevendt udgave, hvor der i øvrigt kan være betydelig forskel mellem de to versioner. Et hverdageksempel på dette fænomen, som kaldes chiralitet, er lugtforskellen mellem citroner og appelsiner. Det er samme kemiske forbindelse, der frembringer duften i begge tilfælde, men dets chiralitet er forskellig.

Både strukturkonformitet og chiralitet kan ændres, når proteinet udsættes for elektromagnetiske felter, hvilket er påvist i en række forskellige forsøg - både specifikt i forhold til trådløst kommunikationsudstyr og i forhold til elektromagnetiske felter generelt:

Significant non-thermal field effects were noted in the coupling of rotational and translational motion; for instance, in microwave and far-infrared (MW/IR) e/m fields, marked increases in rotational and translational diffusion vis-à-vis the zero-field case took place at 0.025–0.1 V Å⁻¹ rms, with a reduction in translational diffusion vis-à-vis the zero-field case above 0.1 V Å⁻¹ rms above 100 GHz. This was due to enhanced direct coupling of rotational motion with the more intense e/m field at the ideal intrinsic rotational coupling frequency (approximately 700 GHz) leading to such rapidly oscillating rotational motion that extent of translational motion was effectively reduced.

--- English, et al., 2012, p094508-1

Påvirkningen af proteiner og makromolekyler kan dokumenteres med moderne forskningsapparatur, men forskningen i proteinstrukturer er dog forholdsvis ny, idet feltet er uhyre komplekst. Allerede i 2005 (Barteri, et al., 2005) påvistes det, at mikrobølgestrålingen fra en almindelig kommercielt tilgængelig mobiltelefon irreversibelt kan ændre proteinstrukturer. Barteri et al blev efterfølgende kritiseret for deres anvendelse af en almindelig mobiltelefon, idet eksponeringsmønstret kun meget vanskeligt kan kvantificeres præcist. Derudover var deres måleinstrument ikke specifikt kalibreret til mobilnetværkets frekvenser; men ingen af disse indvendinger ændrer dog på, at der blev iagttaget væsentlige og irreversible enzymændringer på baggrund af mikrobølgestrålingen fra en normal kommercielt tilgængelig mobiltelefon:

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

This paper first demonstrates that cellular phone emissions affect the structural and biochemical characteristics of an important CNS enzyme. The EeAChE irradiation determined an irreversible monomerization of the protein accompanied by a significant change in the enzyme activity. (...) We would underline that these results were obtained by using a commercial cellular phone to reproduce the reality of the human exposition. Furthermore, this experimental procedure brought about unexpected effects collected practically without experimental errors because they were obtained comparing native and irradiated sample of the same enzyme solution. In these kinds of studies on the use of commercial phones as source of RF, the variability of the RF and intensity might be considered a limiting condition. However, commercial phones are indeed the most common RF sources in the human exposition in everyday life. In light of this, this paper was undertaken to study the effect of the overall phone emissions on a well defined biological target such as AChE.

--- Barteri, et al., 2005, p252-253

Der er senere dokumenteret lignende virkninger i mange forskellige forsøgssetup.

Proteiner kan være uhyre komplekse molekyler, hvor man først for nylig har fået tilstrækkeligt stærke computere til, at man kan modellere proteinernes tredimensionelle struktur med nogen eksakthed; men der er stadig tale om enormt ressourcekrævende udregninger. I 2010 var en specialbygget supercomputer hos D.E. Shaw Research i USA for første gang i stand til at beregne proteinfoldning over et tidsrum på et millisekund. Tidligere computere har kun været i stand til at foretage beregninger, der strækker sig over tidsrum på mikrosekunder. Supercomputerens beregninger af proteinfoldningen i et millisekund tog 100 dage. (Shaw, D.E. et al. 2010)

Processen er enormt kompleks, idet proteinerne typisk består af flere tusinde aminosyrer, hvor det enkelte protein i alt kan omfatte hundrede tusinder af atomer. Samtidigt er proteinerne ikke blot specifikke i forhold til kemisk sammensætning, men også i meget høj grad i forhold til foldning, strukturel konformitet og chiralitet.

Proteinfoldningen beskrives med fire forskellige strukturer rækkende fra den simple kædeopbygning af aminosyrer til den tredimensionelle struktur af et proteinkompleks. Hvorledes den præcise foldning foregår, er stadig genstand for intens udforskning, idet man først for nylig har fået tilstrækkelig computerkapacitet til at kunne udføre meningsfulde modelleringer af proteinstrukturer.

Proteinfoldningen er altafgørende for proteinets korrekte funktion. Som det kan ses i forbindelse med Bovin Spongiform Encephalitis (BSE) og Creutzfeldt-Jakobs Disease, (CJD) kan proteiner med defekt strukturel konformitet være livstruende.

Det antages (Anfinsens dogma: Anfinsen, 1973), at proteinfoldningen i udgangspunktet

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

betinges af rækkefølgen af aminosyrer; men som eksemplet med prioner (BSE/CJD) godtgør, findes der eksempler på proteiner, som kan antage flere forskellige stabile foldninger. Anfinsens dogma er endnu ikke endeligt eftervist eller falsificeret, men den uhyre kompleksitet i foldningen illustreres på glimrende vis i et tankeeksperiment ofte benævnt Levinthal's paradoks, idet Cyrus Levinthal (Levinthal, 1969) beregnede, hvor mange tænkelige kombinationer et enkelt proteins kemiske rækkefølge kan frembringe. For selv simple proteiner viste denne udregning, at en sekventiel afprøvning af foldningsmuligheder vil tage længere tid end universets forventede alder, før den korrekte foldning nås. På grundlag af denne beregning kan det umiddelbart vises, at proteinfoldningen foregår på basis af andre styrende strukturer end sekventiel afprøvning, idet proteinfoldningen af tilsvarende proteiner i virkeligheden sker over tidsskalaer, der måles i millisekunder eller mikrosekunder.

Der findes i kroppen forskellige molekyler, hvis formål det er at hjælpe proteinerne med at nå - eller opretholde - de rette foldninger. Disse molekyler er i sig selv proteiner og benævnes molekyllære chaperoner eller Heat Shock Proteins (HSP), hvor chaperonerne normalt hjælper nydannede proteiner med foldningen, mens HSP'ernes funktioner er at bevare de korrekte foldninger i allerede dannede proteiner, når cellen udsættes for en eller anden stressfaktor.

Proteinet fastholdes i sin foldning af en vid række af forskellige (ret svage) bindinger mellem de forskellige dele af proteinets elementer. Sådanne bindinger omfatter, udover hydrogenbindinger, ionbindinger og svovlbroer, tilsvarende bindinger, hvor negative dele af et givet molekyleelement tiltrækkes af positive dele af et andet molekyleelement. Under et benævnes sådanne bindinger ofte Van der Waals kræfter, og de omfatter blandt andet:

- Londonbindinger/dispersionskræfter: Forholdsvis svage kemiske bindinger baseret på ikke-symmetrisk elektronfordeling i et atom eller et molekyle, hvorved den elektriske ladning forskydes, og molekylet får dipolkarakter og kan vekselvirke med andre dipoler.
- Keesom-kræfter: Bindinger mellem to permanente dipoler
- Debye-kræfter: Bindinger mellem en permanent dipol og en induceret dipol

Denaturering af et protein forekommer, når det mister sin strukturelle konformitet - altså foldes "ud" eller foldes "forkert". Denaturering er normalt irreversibelt, men cellen forsøger at forhindre denne udfoldning via HSP'ere. Hvis man således kan måle forhøjet niveau af HSP eller forhøjet niveau af amyloid (som er "resterne" af fejlfoldede proteiner), efter en given celle er blevet eksponeret for mikrobølgestråling, er dette således et tegn på, at cellen er blevet udsat for en skadelig belastning. Amyloid er i øvrigt blevet korreleret til mindst

20 forskellige sygdomme og neurodegenerative lidelser.

Formation af amyloid via konformitetsændringer i proteiner kan påvises allerede ved SAR-værdier på 0,020 W/kg , altså omkring 100 gange lavere end moderne mobiltelefoner:

These alterations in protein conformation are not accompanied by measurable temperature changes, consistent with estimates from field modelling of the specific absorbed radiation (15-20 mW/kg).

--- de Pomeraiia, 2003, p93

Cellens forsvarsmekanismer i form af HSP'ere kan også måles, og skadevirkningerne sættes allerede i år 2000 (French, 2000) i forbindelse med udvikling af kræftsygdomme.

I udgangspunktet har kroppen mulighed for at reparere ret mange skader; men kroppens systemer er ikke tilpasset til kronisk eksponering:

Upregulation of heat shock proteins (Hsps) is a normal defence response to a cellular stress. However, chronic expression of Hsps is known to induce or promote oncogenesis, metastasis and/or resistance to anticancer drugs. We propose that repeated exposure to mobile phone radiation acts as a repetitive stress leading to continuous expression of Hsps in exposed cells and tissues, which in turn affects their normal regulation, and cancer results. This hypothesis provides the possibility of a direct association between mobile phone use and cancer, and thus provides an important focus for future experimentation.

--- French, 2000, p93

Tilsvarende blev der allerede i 2002 dokumenteret aktivering af HSP'ere (Leszczynski, et al., 2002) i cellekultur efter een times eksponering for 900MHz GSM med en SAR på 2W/kg (svarende til mobiltelefon).

Også i forbindelse med dette eksperiment betones det, at kronisk eksponering forøger risikoen:

Based on the known functions of hsp27, we put forward the hypothesis that mobile phone radiation-induced activation of hsp27 may (i) facilitate the development of brain cancer by inhibiting the cytochrome c/caspase-3 apoptotic pathway and (ii) cause an increase in bloodbrain barrier permeability through stabilization of endothelial cell stress fibers. We postulate that these events, when occurring repeatedly over a long period of time, might become a health hazard because of the possible accumulation of brain tissue damage. Furthermore, our hypothesis suggests that other brain damaging factors may co-participate in mobile phone radiation-induced effects.

--- Leszczynski, et al., 2002, p120

Vridningsresonans i makromolekyler:

Det fremføres ofte at mikrobølger ikke har energi nok til at bryde molekylebindinger.

Fotonenergien kan forholdsvis enkelt udregnes ved formelen:

$$E=h\cdot\nu$$

Hvor E er energien, h er Plack konstanten og ν er frekvensen.

Ved 900 MHz er fotonenergien $3,722\times 10^{-6}$ eV

Ved 1800 MHz er fotonenergien $7,444\times 10^{-6}$ eV

Ved 2400 MHz er fotonenergien $9,926\times 10^{-6}$ eV

Idet der ved direkte interaktion kræves en fotonenergi på ca 1eV (Leszczynski, et al., 2002, p121) for at bryde molekylebindinger, gives en del af forklaringen på, hvorfor mange personer med teknisk baggrund er skeptiske overfor problemfeltet med bioreaktive aspekter af mikrobølgestrålingen.

Problemet er dog, at en så reduktionistisk forståelse ikke tager højde for den komplekse sammensætning af molekyler, bindinger og interaktioner, der findes i biokemiske sammenhænge. Først for nylig, med de eksperimentelle og beregningsmæssige fremskridt inden for systembiologi og kvanteelektrodynamik har man fået mulighed for at udforske nogle af disse sammenhænge.

Mikrobølgestrålingen kan ikke, i sig selv, bryde molekylebindinger; men som beskrevet i de to foregående afsnit er der en vid række af replicerede forskningsresultater, der viser væsentlige ændringer i vands viskositet og makromolekylers konformitet.

Tager man skridtet videre i retning af yderligere forståelse af den enorme kompleksitet, vores biologiske systemer og molekyler er baseret på, findes der en ganske interessant teoridannelse beregnet af Jakob og Henrik Bohr (Bohr & Bohr, 1997), hvor resonansforhold og vridninger af proteinstrukturerne beskrives som afgørende for proteinets foldning og strukturelle konformitet:

In this paper we suggest that the initiation of protein folding is a resonance phenomenon, and that protein folding takes place when the amplitude of the resonance mode exceeds a certain threshold. This mechanism for initiation of folding of polypeptide chains is justified for a general chain. Folded structures become stabilized by van der Waals forces, hydrogen bonds, disulphide bridges etc., and as we shall see in some cases

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

even by dynamic forces.

---Bohr, J., Bohr, H., Brunak, S., 1997a, p98

Teoridannelsen, som senere er eftervist eksperimentelt (Bohr, H., Bohr, J., 2000), godtgør derved, at et elektromagnetisk felt i mikrobølgeområdet kan have afgørende virkninger på makromolekyleres konformitet og endda på deres strukturelle integritet:

At first it may seem surprising that the electromagnetic energy deposited in the polypeptide chain, can be concentrated and focused in such a way that the energy subsequently can be released by the breaking of a single bond. The topological wring modes described above can offer a possible explanation for this. Absorption of electromagnetic radiation, many quanta, can lead to an enhanced amplitude of a wring mode. The energy of this wring mode is distributed along the chain molecule. However, at some amplitude of the wring mode conformational changes of the polypeptide backbone may take place and eventually lead to breaking as the excess energy is being concentrated in a small part of the chain, see Fig. 1.

--- Bohr, J., Bohr H., 1997, p187

Virksomheden af vridningsresonansens præsenteres i forskningsartiklen (Bohr, H., Brunak, S., Bohr, J., 1997b, p189) med beregning af, hvorledes vridningsresonansen kan koncentreres i et punkt for derefter at lede til brud på molekylestrengen.

Det beregnes endvidere (Bohr, H., Brunak, S., Bohr, J., 1997b, p188), at resonansfrekvenserne for dobbeltstrengt DNA ligger mellem 10MHz og 10GHz, hvilket er sammenfaldende med det frekvensinterval, der hyppigst udnyttes til kommercielt tilgængelige trådløse kommunikationsløsninger (Bohr, H., Bohr, J., 2000, p71).

Resonansfrekvensen i et materiale tillader opbygning af større og større amplitude ved tilførsel af forholdsvis små energimængder. Et hverdags eksempel herpå kunne være et barn på en gyngestol. I det omfang mikrobølger således kan igangsætte resonanssvingninger i makromolekyler, vil der således kunne opsummeres tilstrækkelige energimængder til at ændre molekylet:

It is shown that the eigenfrequency of collective twist excitations in chain molecules can be in the megahertz and gigahertz range. Accordingly, resonance states can be obtained at specific frequencies, and phenomena that involve structural properties can take place. Chain molecules can alter their conformation and their ability to function, and a breaking of the chain can result. It is suggested that this phenomenon forms the basis for effects caused by the interaction of microwaves and biomolecules, e.g., microwave assisted hydrolysis of chain molecules.

--- Bohr, H., Brunak, S., Bohr, J., 1997b, p187

De beregnede teoretiske sammenhænge blev eftervist eksperimentelt i 2000:

To conclude, refolding experiments on B-lactoglobulin with applied microwave radiation show that there are

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

non-thermal effects of microwave irradiation that can enhance the kinetics of the folding and denaturation processes. The observed effects of microwaves on B-lactoglobulin were consistently reproducible in repeated experiments on both that protein and other globular proteins. The effects observed in this paper of being able to change the processes of folding and denaturation by external radiation and perhaps even steer the reactions could be promising for future applications in biotechnology, such as recombinant DNA techniques, and may help to further the development of understanding of the interaction of electromagnetic radiation with biological systems.

--- Bohr, H., Bohr, J., 2000a, p4314

Det bemærkes, at de beskrevne processer i både den teoretiske udregning og de eksperimentelle resultater i Bohr & Bohrs teoridannelse er dokumenteret non-termiske, dvs at reaktionerne ikke er relateret til skader, der fremkommer ved opvarmning. Samtidigt bør man dog være opmærksom på, at resultaterne ikke er etableret med udgangspunkt i trådløs kommunikationsteknologi, men generelt formuleret i forhold til RF-EMF i mikrobølgespektret. Vridningsresonansen bør således, i forbindelse med mikrobølgestråler fra trådløs kommunikationsteknologi, anses som endnu et i rækken af mulige problemfelter, der mangler yderligere udforskning, mens det samtidigt bemærkes, at de beskrevne mekanismer i forhold til vridningsresonans vil kunne anvendes som forklaringsbaggrund for en stor del af de - i andre eksperimenter - observerede non-termiske effekter.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Calcium efflux:

En engelsk forsker, Andrew Goldsworthy, fra Imperial College i London har udviklet en teori for, hvorledes elektromagnetiske felter påvirker cellemembraners permeabilitet ved ændringer i ionbindinger mellem positivt ladede calcium-ioner og den negativt ladede cellemembran (Goldsworthy, 2008, 2012). Permeabilitet er et udtryk for gennemtrængelighed, altså hvorvidt et bestemt stof kan trænge gennem en specifik membran. I biologiske systemer er sådanne membraner med selektiv permeabilitet af uhyre høj vigtighed på det cellulære niveau - en forholdsvis beskedent ændring i membransystemerne kan derfor have væsentlig indvirkning på cellens funktion og levedygtighed og dermed have direkte systemiske konsekvenser for den pågældende organisme.

Udgangspunktet er forholdsvis simpel fysik: Når et ledende materiale udsættes for et elektromagnetisk felt, vil der induceres en strøm i det ledende materiale.

Menneskets blod er elektrisk ledende - blandt andet på grund af dets indhold af salt. Når mennesket opholder sig i et elektromagnetisk felt, vil der således dannes Foucault-strømme (en slags hvirvelstrømme) i vævet, hvorved der skabes en AC-potentialeforskel over de enkelte cellers membraner.

Det er vist (Bawin et al., 1975), at elektromagnetiske felter - i non-termiske intensiteter - kan løsrive calcium-ioner fra cellemembranernes overflade.

Mekanismen i denne løsrivelse afhænger ikke af fotonenergien af den pågældende elektromagnetiske stråling, men i stedet af den svingende elektriske potentialeforskel, som opbygges over cellemembranen som følge af de inducerede Foucault-strømme.

Det er i øvrigt påvist (Blackman et al. 1982; Blackman 1990), at løsrivelsen af calcium-ioner kun sker inden for ganske bestemte amplitude-"vinduer", hvilket formentlig er begrundet i calcium-ionens divalente egenskaber, hvor hovedparten af øvrige frie ioner i cellestrukturen er monovalente, idet svingende (AC) potentialer over cellemembranen vil have en vis selektiv effekt baseret på amplitude og frekvens. Goldsworthy forklarer dette fænomen med en lavpraktisk sammenligning med æblehøst, hvor man puffer let til træet for at få de modne æbler til at slippe bindingen til træet. På tilsvarende vis vil en forholdsvis beskedent svingende elektrisk potentialeforskel selektivt kunne løsrive bestemte ioner.

Der kræves selvfølgelig et vist tidsrum mellem svingningerne for at udløse denne effekt,

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

idet AC-feltets polaritet reverserer for hver halve bølgelængde, og ionerne derfor har mulighed for at falde tilbage, hvis svingningerne kommer hurtigt efter hinanden. Et forholdsvis lavfrekvent elektromagnetisk felt vil derved have relativt højere påvirkningspotentiale, men som gennemgået i forrige kapitel vil en elektromagnetisk stråling med et højt niveau af non-sinusoidale pulser (som eksempelvis mikrobølgestrålingen fra mobiltelefoner og øvrigt trådløst kommunikations- og underholdningsteknologi) udvise lavfrekvente strukturer (ELF-komponentfrekvenser), hvorved der - kombineret med mikrobølgestrålingens penetrationsevne - opnåes en biologisk påvirkning med relativt højt potentiale for løsrivelse af calcium-ioner.

Calcium-ionernes funktion i membransystemerne medvirker til at binde de omkringliggende fosfolipider sammen, således at membranen er tæt og uigennemtrængelig. Når calciumionerne fjernes (eller erstattes med monovalente ioner) svækkes membranen, og der opstår risiko for utætheder. I et velfungerende system kan cellen - indtil en vis grænse - reparere sådanne skader, men kun i et vist omfang - og kun på bekostning af cellens egentlige funktioner. En kontinuerlig eksponering for pulseret mikrobølgestråling (som eksempelvis fra moderne trådløst kommunikations- og underholdningsteknologi) efterlader således ikke cellerne nogen restitutionsperioder til at opbygge reservekapacitet til at imødegå skaderne.

Utætte membraner kan have en ganske vid række af skadevirkninger:

Nedbrydning af DNA:

Et af de mest problematiske steder, en celle kan opleve utætte membraner, er i forbindelse med lysosomer, hvor cellen nedbryder og fordøjer fremmede molekylekæder. Til det brug produceres forskellige enzymer, som eksempelvis kan nedbryde DNA. Hvis en membranvæg mod et sådant lysosom bliver utæt, vil der kunne strømme DNA-nedbrydende deoxyribonuklease fra lysosomet og ind i selve cellen, hvor det kan forårsage skader på cellens arveanlæg. Flere studier (bla Lai & Singh, 1995 og Reflex Reporten, 2004) har eksperimentelt påvist DNA-skader ved eksponering for mikrobølgestråler i non-termiske intensiteter langt under nuværende grænseværdier.

Fertilitetsproblemer:

Idet Foucault-strømmene i princippet kan opstå overalt i kroppen, kan skadevirkningerne grundlæggende manifestere sig i et hvilket som helst organ. Med udgangspunkt i de dokumenterede skadevirkninger på menneskets arveanlæg vil man samtidigt forvente et stort potentiale for skadevirkninger i reproduktionsorganerne, hvilket faktisk er eftervist eksperimentelt (Fejes et al. 2005; Agarwal et al. 2006; Agarwal et al. 2007).

Blod-hjerne-membranen:

Goldsworthy anfører, at membransvækkelsen formentlig også vil kunne føre til svækkelse af membraner og membranlignende strukturer andre steder i kroppen - eksempelvis i forbindelse med blod-hjerne-barrieren. Det er vist (Persson et al. 1997), at mikrobølgestråling fra en mobiltelefon kan øge permeabiliteten af blod-hjerne-barrieren så meget, at makromolekyler som albumin kan trænge igennem (og derved trænge ind i hjernen). Skadevirkningerne af sådanne fremmede molekyler i hjernevævet er ligeledes dokumenteret (Salford et al. 2003).

Allergier og øvrige sygdomme:

Ved permeabilitetsøgning af membranstrukturer vil risikoen for optag af allergener og fremmede kemikalier øges væsentligt. Goldsworthy påpeger i den forbindelse, at den nuværende stigning i allergier og allergi-relaterede lidelser i høj grad er geografisk og tidsmæssigt sammenfaldende med den høje stigning i elektromagnetisk eksponering, der har fundet sted de senere år. Samtidigt påpeges det, at MCS, astma og forskellige eksemmer kan skyldes utætte membraner. I andre studier (Arrieta et al. 2006) er permeabilitetsøgninger af tarmsystemets membraner sat i forbindelse med type-1 diabetes, Chrons sygdom, cøliaki og multipel sklerose.

Aktivering af VGCC (voltage-gated calcium channel) ved mikrobølgeeksponering sættes endvidere i forbindelse med en lang række af neurofysiologiske og neuropsykiatriske problemstillinger gennem oxidative skadevirkninger og modulering af neurotransmitterkaskader

*Two U.S. government reports from the 1970s to 1980s provide evidence for many neuropsychiatric effects of non-thermal microwave EMFs, based on occupational exposure studies. 18 more recent epidemiological studies, provide substantial evidence that microwave EMFs from cell/mobile phone base stations, excessive cell/mobile phone usage and from wireless smart meters can each produce similar patterns of neuropsychiatric effects, with several of these studies showing clear dose-response relationships.
(...)*

Among the more commonly reported changes are sleep disturbance/insomnia, headache, depression/depressive symptoms, fatigue/tiredness, dysesthesia, concentration/attention dysfunction, memory changes, dizziness, irritability, loss of appetite/body weight, restlessness/anxiety, nausea, skin burning/tingling/dermographism and EEG changes.

In summary, then, the mechanism of action of microwave EMFs, the role of the VGCCs in the brain, the impact of non-thermal EMFs on the brain, extensive epidemiological studies performed over the past 50 years, and five criteria testing for causality, all collectively show that various non-thermal microwave EMF exposures produce diverse neuropsychiatric effects.

--- Pall, 2015. (epub - doi: 10.1016/j.jchemneu.2015.08.001)

Frie radikaler:

Over et tidsrum på cirka hundrede år er menneskehedens forståelse af biologiske og kemiske reaktioner på cellulært niveau gået fra gådefuld uforklarethed til detaljeret modellering. Samtidigt er fokusområdet i det biologiske forskningsspektrum gået fra organer til væv, til celler og i nyere tid til molekylærbiologien. Foran os står endnu relativt u-udforskede områder som systembiologi og kvanteelektrodynamik og interaktionerne mellem disse områder. Fuld forståelse for de mange interaktionsmuligheder mellem elektromagnetiske felter og biologiske organismer/biokemiske systemer kræver derfor langt højere indsigt i de specifikke molekylærbiologiske sammenhænge end antaget i fortidige forsimplede modelleringer, hvor kun opvarmningseffekten af den modtagne stråling regnedes som biologisk relevant.

I ældre forståelsesmodeller har man arbejdet ud fra en termodynamisk ligevægtsmodel, som kun ganske rudimentært kan beskrive biologiske reaktioner, der kan være baserede på non-linære kvanteelektrodynamiske sammenhænge.

Et af de tidligste resultater påviste, at svage magnetfelter øger koncentrationen af frie radikaler, forhøjer deres rekombination og øger risikoen for skadelige reaktioner mellem den frie radikal og cellens komponenter. (Scaiano et al, 1994.)

I dag er sammenhængen mellem frie iltradikaler og RF-EMF (Radio Frekvente ElektroMagnetiske Felter) veletableret, og det vil formentlig være passende at omtale de forløbne ti års forskning som repræsenterende et reelt paradimeskifte i forståelsen af interaktionen mellem RF-EMF i non-termiske intensiteter og frie radikaler, idet 88% (Lai, 2014) - 93% (Yakymenko et al, 2015) af de publicerede forskningsresultater inden for feltet påviser eller indikerer kausalforhold mellem eksponering for RF-EMF i non-termiske intensiteter i mikrobølgespektret og øgede niveauer af frie radikaler på cellulært niveau.

A wide pathogenic potential of the induced ROS and their involvement in cell signaling pathways explains a range of biological/health effects of low-intensity RFR, which include both cancer and non-cancer pathologies. In conclusion, our analysis demonstrates that low-intensity RFR is an expressive oxidative agent for living cells with a high pathogenic potential and that the oxidative stress induced by RFR exposure should be recognized as one of the primary mechanisms of the biological activity of this kind of radiation.

--- Yakymenko et al, 2015, p1

Begrebet "fri radikal" dækker over et molekyle, et atom eller en ion, som har uparrede elektroner og derfor er meget reaktionsvillig (Herzberg's definition, Herzberg, 1971). I biologiske henseender er disse radikaler ofte baserede på ilt-atomer, hvorfor begrebet frie ilt-radikaler - eller det engelske begreb ROS (Reactive Oxygen Species) også bruges.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

De frie radikaler findes naturligt i kroppen - og benyttes faktisk i vid udstrækning som signalmolekyler på cellulært og intercellulært niveau, men i disse henseender er der kontrolsystemer, der sørger for, at molekylerne ikke laver uønskede reaktioner. Problemet med disse molekyler er jo netop deres reaktionsvillighed - idet en fri radikal reagerer med et andet molekyle ødelægges dette molekyle. Derfor er kroppen afhængig af at kunne kontrollere udbredelsen og mængden af de frie radikaler.

En fri radikal eksisterer kun i tidsrum, der måles i nanosekunder, før den rekombinerer med et andet molekyle eller atom, men i dette tidsrum kan pågældende frie radikale, gennem en kædereaktion, der genererer flere frie radikaler, nå at påvirke flere millioner andre molekyler. Kontrol og neutralisering af frie radikaler er derfor altafgørende for cellens og organismens funktion og helbred.

Imidlertid er der, som nævnt ovenstående, næsten forskningsmæssig konsensus om fænomenet, hvor RF-EMF forårsager forhøjelse i niveauet af frie radikaler.

Den underliggende mekanisme skal formentlig søges i det faktum, at magnetfeltskomponenten af RF-EMF kan forsinke rekombineringen og dermed faktisk ændre raten og produktmængden for en given reaktion. (McLaughlan, K.A., 1992.). En særdeles svag påvirkning har derved voldsomt påvirkningspotentiale, der kan omfatte systemiske reaktioner for hele organismen.

Der er indikationer på tilstedeværelsen af endnu en underliggende mekanisme, hvor oscillierende felter påvirker dannelsen og rekombineringen af frie radikaler gennem elektrodynamiske effekter relateret til elektronernes spin (McLaughlan, K.A., Steiner, U.E. 1994)

Der findes i øvrigt samtidigt forskningsmæssige resultater (dog kun ved dyreforsøg), der dokumenterer gavnlige effekter af lavfrekvent RF-EMF i forhold til begrænsning af tumorudvikling. (López-Riquelme et al, 2015.)

Påvirkningen understreger hermed bioreaktiviteten af elektromagnetiske felter i non-termiske intensiteter og understreger samtidigt vigtigheden af yderligere udforskning af emnet, således at der kan etableres klarhed over præcis, hvilke frekvenser og modulationsformer, der er negativt bioreaktive. Som tilfældet med calcium-ionerne (gennemgået i foregående afsnit) er det elektromagnetiske felts påvirkningspotentiale i forhold til frie radikaler forventeligt stærkt bundet til ganske specifikke karakteristika for det pågældende elektromagnetiske felt.

Andre forskere har påvist sammenhængen mellem RF-EMF og frie radikaler i dyreforsøg, hvor et forsøgsdyr eksponeres for RF-EMF og samtidigt tilføres ekstra antioxidanter. Først udførtes forsøget uden antioxidanter, hvor det påvist at RF-EMF i lave frekvenser (60Hz) kunne forårsage både en- og dobbeltsidige DNA-brud i hjerneceller hos rotter via skadevirkninger forbundet med frie radikaler (Lai H, Singh NP, 1997a). Herefter udførtes samme forsøg, men kombineret med administration af antioxidant (melatonin), hvor det dokumenteredes, at antioxidanten blokerede for skadevirkningerne fra RF-EMF (Lai H, Singh NP, 1997b).

Skadevirkningerne fra frie radikaler induceret ved eksponering for RF-EMF, kan tilsvarende kobles til neurodegenerative lidelser (Lai H, 1998), idet nervecellernes kapacitet for DNA-reparationer er forholdsvis mindre.

Der kan måles et forøget niveau af frie radikaler hos raske forsøgspersoner allerede efter 15 og 30 min eksponering for GSM mobilstråling ved SAR på 1,09W/kg:

Results suggest that exposure to electromagnetic radiation may exert an oxidative stress on human cells as evidenced by the increase in the concentration of the superoxide radical anion released in the saliva of cell phone users.

--- Abu Khadra et al, 2015, p72

Virkningerne kan også måles, når almindelige (consumerunit) trådløse accesspoints benyttes som eksponeringskilde (Atasoy, et al., 2012) - denne gang med rotter som modelorganisme: Med udgangspunkt i målinger af 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine etableres en statistisk signifikant ($p < 0.05$) korrelation mellem eksponering og oxidativt stress. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (som ofte blot forkortes 8-oxo-dG) er et følgeprodukt ved oxidering af DNA, hvorfor forbindelsen kan anvendes til at kvantificere niveauet af oxideringsskader i en celle:

These findings raise questions about the safety of radiofrequency exposure from Wi-Fi Internet access devices for growing organisms of reproductive age, with a potential effect on both fertility and the integrity of germ cells.

--- Atasoy, et al., 2012, p223

Mikrobølgestrålingen fra WiFi er undersøgt i flere forskellige eksperimentelle setup. I et interessant eksperiment (Aynali, et al., 2013) godtgøres det ($p < 0.05$), at mikrobølgestrålingen fra WiFi kan forårsage oxidative skader (via frie radikaler), og at melatonin udviser ($p < 0.01$) en vis beskyttende effekt:

There is an apparent protective effect of melatonin on the Wi-Fi-induced oxidative stress in the

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

laryngotracheal mucosa of rats by inhibition of free radical formation and support of the glutathione peroxidase antioxidant system.

--- Aynali, et al., 2013, p1695

Effekten kan måles med stor statistisk sikkerhed ved en times eksponering for 1,8GHz GSM ved SAR=0,4 W/kg i tredive dage. Samtidigt fandt forskerne en vis beskyttende virkning ved udtræk af hvidløg for visse af virkningerne:

The exposure of RF-EMR similar to 1.8 GHz Global system for mobile communication (GSM) leads to protein oxidation in brain tissue and an increase in serum NO. We observed that garlic administration reduced protein oxidation in brain tissue and that it did not have any effects on serum NO levels.

--- Avcı, et al., 2012, p799

Virkningerne af frie radikaler kan også observeres i huden på rotter efter eksponering for 900MHz mikrobølgestråling svarende til en GSM mobiltelefon. Samtidigt påvises det, at melatonin har en vis beskyttende effekt i forhold til skadevirkningerne forårsaget af frie radikaler efter eksponering for mikrobølgestråling:

MDA [malondialdehyde] and hydroxyproline levels and activities of CAT [catalase] and GSH-Px [glutathione peroxidase] were increased significantly in the IR group compared to the control group ($p < 0.05$) and decreased significantly in IR+Mel group ($p < 0.05$). SOD [superoxide dismutase] activity was decreased significantly in the IR [irradiated] group and this decrease was not prevented by the Mel [melatonin] treatment. These results suggest that rats irradiated with 900 MHz suffer from increased fibrosis and lipid peroxidation (LPO). Mel treatment can reduce the fibrosis and LPO caused by radiation.

--- Ayata, et al., 2004, p878

Ved forsøg med rotter er det endvidere påvist, at ændringerne i niveauet af frie radikaler er større i ikke-fuldvoksne organismer end ved voksne organismer ved eksponering for 900MHz GSM-lignende mikrobølgestråling. Selv om man ikke i alle tilfælde kan overføre resultater direkte fra dyreforsøg til mennesker, er resultatet dog bemærkelsesværdigt set i forhold til udbredelsen af mikrobølgebaseret teknologi til børn og unge i uddannelsessektoren. Bemærk i denne forbindelse, hvorledes reparationsmekanismerne hos de ikke-fuldvoksne påpeges at være begrænsede - skadevirkningerne er således i stor udstrækning irreversible:

Substantial, deleterious biochemical changes were observed in oxidative stress metabolism after EMF exposure. Antioxidant enzyme activity, glutathione levels in lymphoid organs and the antioxidant capacity of the plasma decreased, but lipid peroxidation and nitric oxide levels in PMNs and plasma and also myeloperoxidase activity in PMNs increased. Oxidative damage was tissue specific and improvements seen after the recovery period were limited, especially in immature rats. CONCLUSIONS: In the present study, much higher levels of irreversible oxidative damage were observed in the major lymphoid organs of immature rats than in mature rats.

--- Aydin B, Akar A. 2011, p261

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

I endnu et rotteforsøg - denne gang med fokus på hjernen - påvises der signifikant stigning i oxidative stress (malondialdehyde (MDA): $p < 0.001$; advanced oxidation protein product (AOPP): $p < 0.05$) ved eksponering for 900MHz mobillignende mikrobølgestråling ved SAR=1,08 W/kg i en time hver dag i tre uger. Samtidigt vises ($p < 0.05$) en vis beskyttende effekt ved udtræk fra hvidløg i forhold til de oxidative processer. Det bemærkes i øvrigt, at det valgte eksponeringsmønster er overordentligt virkelighedsnært i forhold til reelle eksponeringsforhold for især unge mennesker:

Our results suggest that there is a significant increase in brain lipid and protein oxidation after electromagnetic radiation (EMR) exposure and that garlic has a protective effect against this oxidative stress.
--- Bilgici, et al., 2013, p20

Overproduktionen af frie radikaler ved eksponering for mikrobølgestråling fra trådløse kommunikationsmidler kan forekomme ved forholdsvis lave eksponeringsværdier. I et forsøg med embryoer fra japanske vagtler påvistes således signifikant stigning i niveauet af oxidative forbindelser. Det påpeges samtidigt, at oxidativt stress i det iagttagne omfang kan lede til udvikling af kræft:

Exposure of developing quail embryos to extremely low intensity RF-EMR of GSM 900 MHz during at least one hundred and fifty-eight hours leads to a significant overproduction of free radicals/reactive oxygen species and oxidative damage of DNA in embryo cells. These oxidative changes may lead to pathologies up to oncogenic transformation of cells.

--- Burlaka, et al., 2013, p219

I endnu et rotteforsøg påvises sammenhæng mellem eksponering for GSM-lignende mikrobølgestråling (900MHz ved SAR = 8.4738×10^{-5} W/kg 2 timer om dagen, 5 timer om ugen i 30 dage), oxidative skader og signifikant mindsket kognitiv funktion. Resultatet er igen bemærkelsesværdigt i forhold til nuværende udrulning af mikrobølgebaserede kommunikationsenheder i uddannelsessystemet:

Results showed significant impairment in cognitive function and increase in oxidative stress, as evidenced by the increase in levels of MDA (a marker of lipid peroxidation) and protein carbonyl (a marker of protein oxidation) and unaltered GSH content in blood. Thus, the study demonstrated that low level MW radiation had significant effect on cognitive function and was also capable of leading to oxidative stress.

--- Deshmukh, et al., 2013, p114

Virkningerne af den oxidative stress, cellerne udsættes for ved overproduktionen af frie radikaler ved eksponering for mikrobølgestråling fra trådløse kommunikationsenheder, kan også måles i de røde blodlegemer og i nyrene hos rotter:

The results suggest that EMR at the frequency generated by a cell phone causes oxidative stress and

peroxidation in the erythrocytes and kidney tissues from rats. In the erythrocytes, vitamin C seems to make partial protection against the oxidant stress.

--- Devrim, 2008, p679

Efter eksponering for mikrobølgestråling fra trådløse kommunikationsenheder i frekvenserne 900MHz, 1800MHz og 2450MHz i en time pr dag over 2 måneder kunne der (Eser, et al., 2013) - som følge af oxidative skader - måles direkte skadevirkninger i hjernevævet hos forsøgsdyrene. I forhold til det eksponeringsmønster, mange unge mennesker i dag udsættes for i forbindelse mikrobølgestråling fra mobiltelefoner og trådløs digital kommunikation, er det væsentligt at bemærke eksperimentets beskrivelse af strukturel og vidtfavnende skadevirkning fordelt over flere væsentlige områder af hjernen:

EMR causes to structural changes in the frontal cortex, brain stem and cerebellum and impair the oxidative stress and inflammatory cytokine system. This deterioration can cause to disease including loss of these areas function and cancer development.

--- Eser, et al., 2013, p707

Den bioreaktive egenskab i de pulserede mikrobølger er formentlig begrundet i de ELF-komponentfrekvenser, som pulsmodulationen tilføjer signalet. I et eksperimentelt setup (Höytö A, Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. 2008) påvist det således, at pulseret mikrobølgestråling (872MHz / SAR=5W/kg) kunne fremkalde oxidative skader, mens ikke-pulserede mikrobølgestråler i samme intensitet og frekvens ikke forårsagede oxidative skader.

Andre finder samme egenskaber ved pulseret mikrobølgestråling - denne gang fra 900MHz GSM:

Results of our study showed that pulsemodulated RF radiation causes oxidative injury in liver, lung, testis and heart tissues mediated by lipid peroxidation, increased level of NOx and suppression of antioxidant defense mechanism.

--- Esmekaya, et al., 2011, p84

Allerede i 2007 dokumenterede et israelsk forskerteam (Friedman, et al., 2007) en række af detaljerne ved overproduktionen af frie radikaler som følge af eksponering for mikrobølgestråler fra mobiltelefoner og tilsvarende. De isolerede en specifik påvirkningsmekanisme, hvor mikrobølgestrålernes energi stimulerer NADH-oxidase (som er et enzym, der normalt findes i cellemembraner og katalyserer produktionen af O_2^- , som er en særdeles reaktionsvillig fri iltradikal. (Bemærk at produktionen af O_2^- kun kræver flytning af een elektron). Iltradikalerne påvirker herefter en kaskade af processer, som influerer både gen-transkription og cellulære processer:

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Thus, this study demonstrates for the first time a detailed molecular mechanism by which electromagnetic irradiation by mobile phones induces the activation of the ERK cascade and thereby induces transcription and other cellular processes.

--- Friedman, et al., 2007, p559

I uddannelsessystemet eksponeres mange elever, studerende og undervisere dagligt for meget høje niveauer af mikrobølgestråling, da meget af den IT-støttede undervisning baseres på trådløse løsninger, idet sådanne ofte opfattes billigere at etablere end kablede netforbindelser. Via mobiltelefoni foregår der samtidigt en kontinuerlig eksponering af funktionærer og arbejdere i andre erhverv. Med en så omsiggribende eksponering er det skræmmende, at der kan påvises oxidative skader og DNA-skader ved meget lave SAR-værdier. Et studie (Garaj-Vrhovac, et al., 2011) blev udført med raske mennesker som forsøgspersoner, idet niveauet af DNA-skader og oxidativt stress på cellulært niveau blev målt for en række radaroperatører.

Der kunne måles signifikant ($P < 0.05$) flere skader på DNA (via comet assay) hos radaroperatørerne end hos den ueksponerede kontrolgruppe. Der kunne samtidigt måles signifikant ($P < 0.05$) forhøjet niveau af celleskader. Samtidigt kunne der måles signifikante oxidative skader hos den eksponerede gruppe.

Det bemærkelsesværdige i eksperimentet er, at radaroperatørerne faktisk var placeret i beskyttende bygninger - den målte eksponering var således væsentligt lavere, end hvad der forekommer eksempelvis ved benyttelse af mobiltelefoni i arbejdsøjemed eller benyttelse af trådløs digital kommunikationsteknologi i uddannelsesmæssig henseende. Idet radarteknologi er pulserende RF, udregnedes peak SAR til at ligge mellem $3,2 \cdot 10^{-4}$ W/kg og 2,51 W/kg - afhængig af, hvilke lokaliteter der opmålt. Tilsvarende lå den gennemsnitlige SAR mellem $1,19 \cdot 10^{-9}$ W/kg og $8,35 \cdot 10^{-6}$ W/kg.

Ud fra måleværdierne vil man således forvente at kunne finde tilsvarende situationer med DNA-skader, celleskader og oxidativt stress på cellulært niveau hos et stort antal elever, studerende og undervisere i uddannelsessystemet, samt hos personer med intensivt brug af mobiltelefoni i arbejds- eller fritidsmæssig henseende.

Results suggests that pulsed microwaves from working environment can be the cause of genetic and cell alterations and that oxidative stress can be one of the possible mechanisms of DNA and cell damage.

--- Garaj-Vrhovac, et al., 2011, p 59

Samtidigt er det påvist, at oxidative skader forårsaget ved prenatal eksponering stadig kan måles efter fødslen. (Hanc H, Odac E, Kaya H, Aliyazıcıoğlu Y, Turan I, Demir S, Colakoğlu S. 2013.). Endvidere behøver eksponeringen ikke komme fra egen anvendelse af

mobiltelefon eller lignende trådløse apparater - et Schweizisk forskerhold (Hässig M, Jud F, Naegeli H, Kupper J, Spiess BM., 2009) undersøgte forekomsten af oxidativt stress i øjnene på kalve fra kødkvægsbesætninger i Schweiz. Der kunne måles korrelation mellem oxidativt stress og antallet af mobiltelefon-antennemaster i nærheden. Samtidigt kunne der etableres korrelation mellem oxidativt stress og afstanden til nærmeste mobiltelefon-antennemast.

Oxidative skader i øjnene dokumenteres også i andre dyreforsøg. Et forskerhold (Jelodar G, Akbari A, Nazifi S. 2013) undersøgte således påvirkningsmekanismen hos rotter og fandt tilsvarende oxidative skader i øjnene hos rotterne ved eksponering for mikrobølgestråling svarende til strålingen i godkendt afstand fra en mobiltelefon-antennemast. Ud over at dokumentere fremkomsten af oxidative skader, indikerede resultaterne samtidigt, at antioxidant i form af vitamin C har en vis beskyttende effekt:

It can be concluded that RFW [radiofrequency wave] causes oxidative stress in the eyes and vitamin C improves the antioxidant enzymes activity and decreases MDA [malondialdehyde].

--- Jelodar G, Akbari A, Nazifi S. 2013, 128

Samme forskerhold gentog i øvrigt forsøget - stadig under anvendelse af en eksponeringskilde svarende til godkendt afstand af en mobiltelefon-antennemast, og kunne påvise samme oxidative skader i testiklerne på rotter:

It can be concluded that RFW causes oxidative stress in testis and vitamin C improves the antioxidant enzymes activity and decreases MDA.

--- Jelodar G, Akbari A, Nazifi S. 2013a, 128

De frie radikaler kan forårsage mange forskellige former for oxidativt stress i en eksponeret celle, men en del undersøgelser påviser en genotoksisk effekt - altså at mikrobølgestrålingen fra mobiltelefoner og anden trådløs kommunikationsteknologi er direkte giftig eller skadelig for menneskets arveanlæg. Det konkluderes således, efter et kinesisk (Liu, et al., 2013) eksperiment baseret på 1800MHz GSM ved SAR på 1 W/kg, 2 W/kg eller 4 W/kg:

Taking together, these findings may imply the novel possibility that RF-EMR with insufficient energy for the direct induction of DNA strand breaks may produce genotoxicity through oxidative DNA base damage in male germ cells.

--- Liu, et al., 2013, p2

Et andet kinesisk resultat fra 2012 viser produktion af frie iltradikaler og konformitetsforstyrrelser ved proteiner, lipider og DNA-molekyler ved eksponering for 900MHz mikrobølgestråling ved SAR=0,4W/kg. Under eksperimentet registreredes 37% celledød i en cellekultur udsat for pågældende eksponering:

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Although human PBMC [peripheral blood mononuclear cell, blodbaserede immunforsvarsceller] was found to have a self-protection mechanism of releasing carotenoid in response to oxidative stress to lessen the further increase of ROS, the imbalance between the antioxidant defenses and ROS formation still results in an increase of cell death with the exposure time and can cause about 37% human PBMC death in eight hours.

--- Lu YS, Huang BT, Huang YX. 2012, p1

Oxidative skader kan også påvises hos bananfluer, der eksponeres for mikrobølgestråling fra en DECT-telefon. Mikrobølgestrålingen var området 1,88-1,90MHz og målt til en intensitet på 2,7 V/m, hvorfra eksponeringen på SAR=0,009W/kg beregnedes.

Bananfluerne blev eksponeret i henholdsvis 0,5; 1; 6; 24 og 96 timer. Allerede efter 6 timers eksponering målt (p < 0.001) to-dobling af niveauet af frie iltradikaler hos bananfluerne:

It is postulated that the pulsed (at 100 Hz rate and 0.08 ms duration) idle state of the DECT base radiation is capable of inducing free radical formation albeit the very low SAR, leading rapidly to accumulation of ROS in a level-saturation manner under continuous exposure, or in a recovery manner after interruption of radiation, possibly due to activation of the antioxidant machinery of the organism.

--- Manta , et al., 2014, p118

Oxidative skader kan også påvirke hjernen og kognitivt potentiale hos rotter allerede ved SAR=5.835 x 10⁻⁴ W/kg. Man bør selvfølgelig ikke overføre resultater fra dyreforsøg direkte til menneskelige forhold, men resultatet er bemærkelsesværdigt set i forhold til det høje eksponeringsniveau i uddannelsesinstitutioner:

Significant impairment in cognitive function and induction of oxidative stress in brain tissues of microwave exposed rats were observed in comparison with sham exposed groups. Further, significant increase in level of cytokines (IL-6 and TNF-alpha) was also observed following microwave exposure. Results of the present study indicated that increased oxidative stress due to microwave exposure may contribute to cognitive impairment and inflammation in brain.

--- Megha , et al., 2012, p889

Der kan måles forhøjet niveau af oxidativt stress hos mennesker, der benytter mobiltelefon. Allerede i 2001 påviste et egyptisk forskerhold sammenhængen ved målinger af oxidative parametre hos raske forsøgspersoner, der eksponeredes for mikrobølgestrålingen fra kommercielt tilgængelige mobiltelefoner i 1, 2 eller 4 timer:

These results indicate that acute exposure to radiofrequency fields of commercially available cellular phones may modulate the oxidative stress of free radicals by enhancing lipid peroxidation and reducing the activation of SOD and GSH-Px, which are free radical scavengers. Therefore, these results support the interaction of radiofrequency fields of cellular phones with biological systems.

--- Moustafa, et al., 2001, p605

Et rotteforsøg fra 2013 påviser oxidativt stress ved eksponering for WiFi og GSM-lignende mikrobølgestråling, og der kunne iagttages skadevirkninger på rotternes nyrer og testikler

efter 60minutters eksponering hver dag i 6 uger. Eksponeringen startede prenatalt:

Wi-Fi- and mobile phone-induced EMR caused oxidative damage by increasing the extent of lipid peroxidation and the iron level, while decreasing total antioxidant status, copper, and GSH values. Wi- Fi- and mobile phone-induced EMR may cause precocious puberty and oxidative kidney and testis injury in growing rats.

--- Ozorak, et al., 2013, p221

Rottforsøgene er vigtige, idet rotter, mus og mennesker har en forbløffende høj grad af overensstemmelse i den proteinkodende del af DNA. Resultaterne fra de mange dyreforsøg kan, som nævnt, ikke direkte overføres til mennesker - men dyreforsøgene kombineret med de eksperimentelle resultater fra studier med raske forsøgspersoner giver en meget sikker identifikation af et væsentlig problemfelt, som ikke adresseres tilstrækkeligt i dagens samfundsdebat.

Hos rotter kan der iagttages skadevirkninger i hjernen som følge af oxidativt stress allerede ved SAR = 0.043-0.135 W/kg:

We demonstrated two important findings; that mobile phones caused oxidative damage biochemically by increasing the levels of MDA, carbonyl groups, XO activity and decreasing CAT activity; and that treatment with the melatonin significantly prevented oxidative damage in the brain.

--- Sokolovic, et al., 2008, p 579

Virkningerne kan i øvrigt også måles på kaniner. I et studie fra 2010 påvises oxidative skader i leveren hos kaniner udsat for GSM-lignende mikrobølgestråling:

Consequently, the whole-body 1800 MHz GSM-like RF radiation exposure may lead to oxidative destruction as being indicators of subsequent reactions that occur to form oxygen toxicity in tissues.

--- Tomruk A, Guler G, Dincel AS. 2010, p39

De dokumenterede skadevirkninger er dog ikke begrænset til dyreforsøg - det kan også iagttages direkte i cellekulturer. Et kinesisk forskerhold undersøgte i 2010 virkningerne af 1800MHz GSM-lignende mikrobølgestråling ved SAR=2W/kg på en cellekultur af nerveceller og påviste oxidative skader i mitochondrial DNA i pågældende nerveceller. Der er i forvejen etableret en vis korrelation mellem skader på mitochondria DNA og forskellige neurodegenerative lidelser, hvorfor resultatet er ret interessant - og alvorligt:

Together, these results suggested that 1800 MHz RF radiation could cause oxidative damage to mtDNA in primary cultured neurons. Oxidative damage to mtDNA may account for the neurotoxicity of RF radiation in the brain.

--- Xu, et al., 2010, p189

Med 88% af eksisterende forskningsartikler om emnet påvisende korrelation mellem

eksponering for elektromagnetiske felter i non-termiske intensiteter og øget forekomst af frie radikaler, er denne påvirkningsmekanisme en af de bedst udforskede og stærkest dokumenterede. Samtidigt er mange detaljer i påvirkningsmekanismen dog endnu ukendte, idet variationer i frekvens, varighed, bølgeform og modulationsform formentlig har signifikant indflydelse på det elektromagnetiske felts biologiske påvirkningspotentialer.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Dielektriske virkninger på cellulært niveau:

Fysikeren Bo Sernelius, som er professor på Linköping University i Sverige, har udformet en meget interessant teori (Sernelius, 2004, 2006) i forhold til mulige skadevirkninger fra mikrobølgestråler i non-termiske intensiteter.

Udgangspunktet for hans teori er de dielektriske kræfter, som er nævnt flere gange i de foregående afsnit.

I stedet for at tage udgangspunkt i virkningerne på de enkelte molekyler tager han udgangspunkt i det cellulære system, idet han viser, at vands dielektriske egenskaber har afgørende betydning for den elektriske ladning mellem de enkelte celler.

Ved eksponering for et elektromagnetisk felt ensrettes vandmolekylernes dipoler, hvilket giver en umiddelbar effekt på den intercellulære elektriske tiltrækning.

Ved 850MHz modulerer mikrobølgefeltet de elektriske tiltrækningskræfter mellem de enkelte celler med omkring 11 størrelsesordener, hvilket blandt andet kan forårsage uhensigtsmæssige sammenklumpninger af blodkar og tilsvarende uhensigtsmæssige sammenklumpninger af røde blodlegemer begrundet i den forhøjede elektriske tiltrækning.

Røde blodlegemer er aflangt runde, og på grund af vandmolekylernes placering i den aflangt runde cellemembran, vil den elektrisk baserede tiltrækning give en specifik orienteringsform præference.

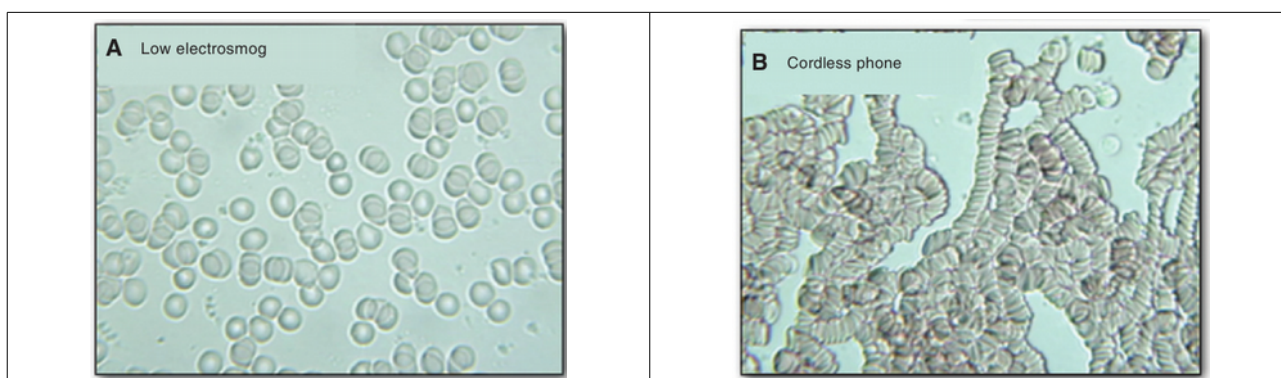
Sammenklumpning af røde blodlegemer er en patologisk tilstand, som er velkendt fra en række forskellige sygdomme. De perlerække-lignende sammenklumpninger kaldes i den forbindelse for Roleaux-formationer.

Sernelius pointerer, at hans teori udelukkende er begrundet i beregninger, og at der kræves opfølgende eksperimenter for at eftervise teoriens substans. Samtidigt anfører han, at hensigten med hans teoretiske beregninger er at tilvejebringe hensigtsmæssige veje og muligheder for den fortsatte udforskning af interaktionsmuligheder mellem RF-EMF og biologiske systemer.

Een af teoriens forudsigelser, nemlig sammenklumpningen af røde blodlegemer, er dog bekræftet eksperimentelt. Den canadiske forsker Magda Havas har foretaget en del eksperimenter i samme henseende og kan dokumentere forekomsten af de såkaldte Roleaux-formationer i blodet hos EHS-patienter, der udsættes for RF-EMF:

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.



Roleaux-formationer efter udsættelse for mikrobølgestråler. De sammenklumpede blodlegemer indikerer en patologisk tilstand. Illustration: Havas, 2013, p79

Samtidigt kan et nyere eksperimentelt resultat i forhold til dielektriske virkninger være relevant støtte for Sernelius teori, idet et forskerteam (Taghi M, Gholamhosein R, Saeed RZ., 2013) har beregnet det elektriske dipolmoment i cellens mikrotubuli til 1000 Debye, hvilket er tilstrækkeligt til, at den rumlige orientering af cellulære mikrotubuli vil kunne påvirkes af et elektromagnetisk felt. Samme forskerteam lavede efterfølgende en eksperimentel eftervisning af deres beregnede teori og kunne påvise strukturændringer i mikrotubuli i rottehjerner efter eksponering for et elektromagnetisk felt.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.*

HSP'ere, Fraktalantenner og elektronbaseret DNA-interaktion

Det er velkendt, at den menneskelige krop er i stand til at mobilisere indtil flere forskellige immunreaktioner som forsvarsmekanismer, når kroppen angribes af fremmede patogener. På tilsvarende vis findes et sæt af forsvarsmekanismer på cellulært niveau, hvis opgave det er at beskytte den enkelte celle mod skadelige forandringer som følge af udefrakommende trusler. Systemerne benævnes ofte den "cellulære stress-respons".

Een af de første stress-respons forsvarsmekanismer, der blev opdaget, var cellens forsvar mod termisk stress - altså opvarmning - hvilket er baggrunden for, at de proteinforbindelser, cellen danner for at mindske skadevirkningerne på cellen, i dag benævnes Heat Shock Proteins (HSP). Man ved i dag, at HSP'ere kan dannes ved mange forskellige typer af skadelige påvirkninger - uafhængigt af hvorvidt cellen opvarmes; men af historiske årsager holder man fast i betegnelsen HSP. Endvidere navngives HSP'erne ofte med et nummer bag betegnelsen HSP - dette nummer angiver i så tilfælde molekylvægten i kilodalton. De fleste proteiner har en molekylvægt mellem 10 og 100 kilodalton, men de mest almindelige HSP'ere grupperer sig omkring 30kD, 70kD og 90kD. (Martin B., & Goodman, R., 2009)

HSP'erne er vigtige i forhold til udforskning af interaktionsmuligheder mellem RF-EMF og biologiske systemer, da det er påvist, at både ELF (Goodman, R. & Blank, M. 1998), RF (de Pomerai, et al., 2000) og amplitudemoduleret RF (Czyz, et al., 2004) kan aktivere cellens stress-respons-reaktion. Cellens reaktion er således et utvetydigt signal om forekomsten af skadevirkninger ved eksponering for mikrobølgestråler i non-termiske intensiteter.

Forskellen mellem de termiske og non-termiske skadevirkninger understreges yderligere, idet man har påvist (Martin B., M & Goodman, R. 2009), at der er tale om to forskellige DNA-rækkefølger, der aktiveres ved igangsætning af stress-respons som følge af elektromagnetisk påvirkning og termisk påvirkning. Samtidigt er det påvist, at de elektromagnetiske felter påvirker cellen allerede ved uhyre lave værdier. Der er målt stress-respons, indikeret ved dannelsen af HSP'ere, ved energiniveauer fra elektromagnetiske felter, som er 14 størrelsesordener lavere end den termiske energimængde, der kræves for at igangsætte den cellulære stress-respons. (Blank, M., Khorkova, O., Goodman, R. 1994). Man har således objektivt dokumenteret tilstedeværelsen af non-termiske stress-reaktioner på cellulært niveau.

En af forfatterne til ovenstående studie uddyber i en senere publikation, hvorledes målingerne står i skarp kontrast til gældende grænseværdier:

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

During the past twenty years, the growing use of cellular phones has aroused great concern regarding the health effects of exposure of the brain to 900 MHz RF waves. Despite claims that the energy level is too low to induce changes in DNA and that the devices are safe, the non-thermal effects that have been demonstrated at both ELF and RF exposure levels can cause physiological changes in cells and tissues even at the level of DNA.

---Martin B., M & Goodman, R. 2009, p74

Samtidigt pointeres det, at de pågældende stress-respons-reaktioner betegner en skadelig situation for den enkelte celle, og at sådanne skadevirkninger kan have systemiske effekter:

Finally, it should be mentioned that some of the pathways described in this section also have roles in protein synthesis via RNA polymerase III, an enzyme in oncogenic pathways [35] [Johnson, D.L. & Johnson, S.A.S. 2008] and could, therefore, provide a mechanistic link between cancer and EMF exposure.

---Martin B., M & Goodman, R. 2009, p74

Ud over aktivering af den cellulære stress-respons findes der andre væsentlige problemforhold, derved at elektromagnetiske felter uhindret kan passerer gennem biologisk væv og således få adgang direkte til DNA-strengene i cellens kerne. Det beskrives (Martin B., M & Goodman, R. 2009), hvorledes det elektromagnetiske felt, via elektronens høje ladning set i forhold til dens masse, kan interagere direkte med elektroner i DNA-strukturen. Direkte elektron-interaktion kræver normalt en relativt høj fotonenergi og er således normalt henvist til de langt mere energirige strålingsformer, som derfor netop betegnes ioniserende stråling. Mikrobølger er ikke-ioniserende, hvilket vil sige, at fotonenergien ikke er tilstrækkelig til at bryde molekulære bindinger i sig selv. Det viser sig dog, at elektronerne i DNA-strukturen ikke alle er så fast bundet, som det er tilfældet i mindre - og mere velstuderede - molekyler, hvilket giver basis for, at mikrobølgernes fotonenergi er tilstrækkelig til at påvirke disse elektroners placering i DNA-molekylet:

Recent studies on DNA have shown that large electron flows are possible within the stacked base pairs of the double helix. Therefore, gene activation by magnetic fields could be due to direct interaction with moving electrons within DNA

--- Blank, Goodman, 1997, p111

I et andet forskningsfelt, nemlig i forbindelse med udvikling af nanocomputere, har man ligeledes påvist elektronvandring i DNA-molekyler:

Here we demonstrate DNA charge transport (CT) over 34 nm in 100-mer monolayers on gold. Multiplexed gold electrodes modified with 100-mer DNA yield sizable electrochemical signals from a distal, covalent Nile Blue redox probe. Significant signal attenuation upon incorporation of a single base-pair mismatch demonstrates that CT is DNA-mediated.

--- Slinker, et al, 2011, p228

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Det beregnes samtidigt, at elektronerne bevæger sig med uhyre høj hastighed som følge af det elektromagnetiske felts påvirkning ($v=10^3$ m/s, Martin B., M & Goodman, R. 2009, p75) hvilket efterfølgende benyttes i en beregning af elektronens tidsmæssige bevægelse set i forhold til det elektromagnetiske felts oscillation, hvor elektronens hastighed bevirker, at påvirkningen på elektronen kan tilsvares pulserende DC. Samlet konkluderes det således:

The low EMF energy can move electrons, cause small changes in charge distribution and release the large hydration energy tied up in protein and DNA structures .

---Martin B., M & Goodman, R. 2009, p75

Selv forholdsvis svage elektromagnetiske felter kan interagere med DNA-molekylet, hvor tærskelværdien (ved 60Hz) opgives (Goodman & Henderson, 1988; Blank & Goodman, 2011) til 0.2–0.3 μT for Na,K-ATPase-reaktionen, 0.5–0.6 μT for cytochrome oxidase og 50.5 μT for Belousov-Zhabotinski-reaktionen. Det ses, at disse værdier er i umiddelbar overensstemmelse med de epidemiologiske resultater for fordobling af børneleukemi-risikoen ved eksponeringer over 0,3-0,4 μT (Blank & Goodman, 2011), og viser samtidigt at bioreaktiviteten for sådanne felter tydeligt kan påvises ved svage feltintensiteter

Tilsvarende er direkte elektroninteraktion på basis af eksterne svage elektromagnetiske felter iagttaget i forbindelse med studier af elektromagnetisk påvirkning på Na,K-ATPase. (Blank, M., 2005)

Een af årsagerne til den direkte interaktion mellem elektromagnetiske felter og DNA kan være en evolutionær tilpasning fra meget tidligt i livets historie. I modsætning til komplekse flercellede organismer (som mennesket) kan det for simple en-cellede organismer være en evolutionær fordel med en relativt høj mutationsrate, hvilket blandt andet kan induceres ved påvirkninger fra elektromagnetiske felter - og selvfølgelig ved påvirkninger fra ioniserende stråling:

EMF is believed to have been an important driving force in evolution. Because the physical arrangement of the DNA in a cell determines its properties as an antenna, the ability of DNA to act as a fractal antenna could account for the large difference in the rate of molecular evolution of prokaryotes and eukaryotes.

--- Blank, M., & Goodman, R., 2011, p413

Fraktaler er kendetegnet ved en selvsimilaritet, der giver strukturlighed mellem forskellige skalaniveauer i pågældende system. En antenne konstrueret på denne basis er således følsom (resonerer) i et meget bredt frekvensfelt. DNA-molekylet udviser, gennem dets opspiraliseringsstrukturer en meget høj grad af selvsimilaritet, og de forholdsvis ensartede skadevirkninger ved eksponering for elektromagnetiske felter i forskellige frekvensområder indikerer samtidigt virkningen af DNA som fraktalantenne.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Tidligere forskning (Lin et al, 1999, 2001) viser samtidigt, at det specifikt er en speciel rækkefølge af gener (nCTCTn), der - grundets dets lave elektronaffinitet set i forhold til GAGA-sammensætningen - muliggør elektronforskydning. Samtidigt vises nCTCTn-rækkefølgens betydning for HSP70, som i mange eksperimenter er koblet til eksponering for elektromagnetiske felter.

Betydningen af disse sammenhænge kan være af stor væsentlighed i forbindelse med den forholdsvis høje elektromagnetiske eksponering, et menneske ufrivilligt udsættes for i det moderne samfund. Den forøgede mutationsrate, som var en evolutionær fordel for de første DNA-baserede eukaryoter, vil kunne give anledning til alvorlige og vidtspredte helbredseffekter, hvis omfang yderligere forstærkes ved det tiltagende eksponeringstryk.

Referencer

Overordnede biofysiske sammenhænge:

- Bawin SM, Adey WR. 1976. Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency. *Proc Natl Acad Sci USA* 1976;73:1999–2003.
- Bawin SM, Kaczmarek LK, Adey WR. 1975. Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann N Y Acad Sci* 1975;247:74–81.
- Becker RO, Murray DG. 1970. The electrical control system regulating fracture healing in amphibians. *Clin Orthop Relat Res* 1970;73:169–98.
- Becker RO. 1961. The bioelectric factors in amphibian-limb regeneration. *J Bone Jt Surg Am* 1961;43-A:643–56.
- Becker RO. 2002. Induced dedifferentiation: a possible alternative to embryonic stem cell transplants. *NeuroRehabilitation* 2002;17:23–31.
- Belyaev, I., 2005. Nonthermal biological effects of microwaves: current knowledge, further perspective, and urgent needs. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24, 375-403.
- Berk M, Dodd S, Henry M. 2006. Do ambient electromagnetic fields affect behaviour? A demonstration of the relationship between geomagnetic storm activity and suicide. *Bioelectromagnetics*. 2006 Feb;27(2):151-5.
- Berton R, et al. Effect of ELF electromagnetic exposure on precipitation of barium oxalate. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993;30:13.
- Binhi, V., Rubin, A., 2007. Magnetobiology: the kT paradox and possible solutions. *Electromagnetic Biology and Medicine* 26 (1), 45-62.
- Blackman CF, Benane SG, House DE, Joines WT. Effects of ELF (1–120 Hz) and modulated (50 Hz) RF fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics* 1985;6:1–11.
- Blackman CF, Elder JA, Weil CM. Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of modulation frequency and field strength. *Radio Sci* 1979;14:93–8.
- Borgens R, et al. 1989. Electric fields in vertebrate repair. Liss, New York, 1989.
- Cifra M, Fields JZ, Farhadi A. 2011. Electromagnetic cellular interactions. *Prog Biophys Mol Biol*. 2011 May;105(3):223-46.
- Cifra, M., Pokorný, J., Havelka, D., Kucera, O., 2010. Electric field generated by axial longitudinal vibration modes of microtubule. *BioSystems* 100 (2), 122-131.
- Colli, L., Facchini, U., 1954. Light emission by germinating plants. *Il Nuovo Cimento* 12 (1), 150-153.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

- Colli, L., Facchini, U., Giudotti, G., Dungani Lonati, R., Orsenigo, M., Sommariva, O., 1955. Further measurements on the bioluminescence of the seedlings. *Cellular and Molecular Life Sciences* 11 (12), 479-481.
- Del Giudice, E., Doglia, S., Milani, M., Smith, C.W., Vitiello, G., 1989. Magnetic flux quantization and Josephson behaviour in living systems. *Physica Scripta* 40, 786-791.
- Del Giudice, E., Fleischmann, M., Preparata, G., Talpo, G., 2002. On the "unreasonable" effects of ELF magnetic fields upon a system of ions. *Bioelectromagnetics* 23, 522-530.
- Edmonds DT. 1993. Larmor precession as a mechanism for the detection of static and alternating magnetic fields. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993;30:3.
- Foletti, A., Lisi, A., Ledda, M., de Carlo, F., Grimaldi, S., 2009. Cellular ELF signals as a possible tool in informative medicine. *Electromagnetic Biology and Medicine* 28 (1), 71-79.
- Forrester JV, Lois N, Zhao M, McCaig C. The spark of life: the role of electric fields in regulating cell behaviour using the eye as a model system. *Ophthalmic Res* 2007;39:4-16.
- Friedman H, Becker RO, Bachman CH. 1963. Geomagnetic parameters and psychiatric hospital admissions. *Nanobiology* 1 (2), 163-176.
- Grundler, W., Kaiser, F., 1992. Experimental evidence for coherent excitations correlated with cell growth. *Nanobiology* 1 (2), 163-176.
- Gu, B., Mai, Y., Ru, C., 2009. Mechanics of microtubules modeled as orthotropic elastic shells with transverse shearing. *Acta Mechanica* 207 (3), 195-209.
- Gurwitsch, A., 1923. Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung. *Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen* 100 (1e2), 11-40.
- Gurwitsch, A., 1924. Physikalisches über mitogenetische Strahlen. *Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen* 103 (3e4), 490-498.
- Gurwitsch, A.G., Gurwitsch, L.D., 1959. Die mitogenetische Strahlung, ihre physikalisch-chemischen Grundlagen und ihre Anwendung in Biologie und Medizin. VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- Hideg, É., Kobayashi, M., Inaba, H., 1991. Spontaneous ultraweak light emission from respiring spinach leaf mitochondria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics* 1098 (1), 27-31.
- Hosada H, Mori H, Sogoshi N, Nagasawa A, Nakabayashi S. Refractive indices of water and aqueous electrolyte solutions under high magnetic fields. *J Phys Chem A* 2004;108:1461-4.
- Jafary-Asl, A.H., Smith, C.W., 1983. Biological dielectrics in electric and magnetic fields. In: *Ann. Rep. Conf. Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, vol. 83. IEEE Publ., pp. 350-355.
- Jelínek, F., Saroch, J., Kucera, O., Hasek, J., Pokorný, J., Jaffrezic-Renault, N., Ponsonnet, L., 2007. Measurement of electromagnetic activity of yeast cells at 42 GHz. *Radioengineering* 16 (1), 36-39.

- Jelínek, F., Pokorný, J., Saroch, J., Hasek, J., 2005. Experimental investigation of electromagnetic activity of yeast cells at millimeter waves. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24 (3), 301-308.
- Jelínek, F., Pokorný, J., Saroch, J., 2002. Experimental investigation of electromagnetic activity of living cells at millimeter waves. In: Pokorný, J. (Ed.), *Abstract Book of International Symposium Endogenous Physical Fields in Biology*, pp. 57-58.
- Jelínek, F., Pokorný, J., Saroch, J., Trkal, V., Hasek, J., Palán, B., 1999. Microelectronicsensors for measurement of electromagnetic fields of living cells and experimental results. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 48 (2), 261-266.
- Jelínek, F., Saroch, J., Trkal, V., Pokorný, J., 1996. Measurement system for experimental verification of Fröhlich electromagnetic field. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 41 (1), 35-38.
- Konev, S.V., Lyskova, T., Nisenbaum, G., 1966. Very weak bioluminescence of cells in the ultraviolet region of the spectrum and its biological role. *Biophysics* 11, 410-413.
- Levin M. 2007. Large-scale biophysics: ion flows and regeneration. *Trends Cell Biol* 2007;17:261–70.
- Lisi, A., Foletti, A., Ledda, M., Rosola, E., Giuliani, L., D’Emilia, E., Grimaldi, S., 2006. Extremely low frequency 7 Hz 100 mT electromagnetic radiation promotes differentiation in the human epithelial cell line HaCaT. *Electromagnetic Biology and Medicine* 25 (4), 269-280.
- Lundager Madson HE. Influence of magnetic field on the precipitation of some inorganic salts. *J Cryst Growth* 1995;152:94.
- Markov MS. 2007. Magnetic field therapy: a review. *Electromagn Biol Med* 2007;26:1–23.
- McCaig CD, Rajniecek AM, Song B, Zhao M. 2002. Has electrical growth cone guidance found its potential? *Trends Neurosci* 2002;25:354–359.
- McCaig CD, Rajniecek AM, Song B, Zhao M. 2005. Controlling cell behavior electrically: current views and future potential. *Physiol Rev* 2005;85:943–78.
- Montagnier, Del Giudice, Aissa, Lavallee, Motschwiller, Capolupo, Polcari, Romano, Tedeschi, Vitiello. 2015. Transduction of DNA information through water and electromagnetic waves. *Electromagnetic Biology and Medicine*. June 2015, Vol. 34, No. 2, Pages 106-112
- Muehsam DJ, Pilla AA. Lorentz approach to static magnetic field effects on bound-ion dynamics and binding kinetics: thermal noise considerations. *Bioelectromagnetics* 1996;17:89–99.
- Murata Y, Iwasaki H, Sasaki M, Inaba K, Okamura Y. 2005. Phosphoinositide phosphatase activity coupled to an intrinsic voltage sensor. *Nature* 2005;435:1239–43.
- Nuccitelli R. 2003. A role for endogenous electric fields in wound healing. *Curr Top Dev Biol* 2003;58:1–26.
- Ojingwa JC, Isseroff RR. 2003. Electrical stimulation of wound healing. *J Invest Dermatol* 2003;121:1–12.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

- Pazur A., 2004. Characterisation of weak magnetic field effects in an aqueous glutamic acid solution by nonlinear dielectric spectroscopy and voltammetry. *BioMagnetic Research and Technology* 2 (1), 8.
- Pazur A, Rassadina V, Dandler J, Zoller J. 2007. Growth of etiolated barley plants in weak static and 50 Hz electromagnetic fields tuned to calcium ion cyclotron resonance. *Biomagn Res Technol* 2006;4:1.
- Pilla AA, Muehsam DJ, Markov MS. 1997. A dynamical systems/larmor precession model for weak magnetic field bioeffects: ion binding and orientation of bound water molecules. *Bioelectrochem Bioenerg* 1997;43:241–52.
- Pilla AA, Muehsam DJ, Markov MS. 1999. A larmor precession/dynamical system models allow mT-range magnetic field effects on ion binding in the presence of thermal noise. In: Bersani F, editor. *Electricity and magnetism in biology and medicine*. New York: Plenum; 1999. p. 395–9.
- Pilla AA. 2003. Weak time-varying and static magnetic fields: from mechanisms to therapeutic applications. In: Stavroulakis P, editor. *Biological effects of electromagnetic fields: mechanisms, modeling, biological effects, therapeutic effects, international standards, exposure criteria*. Berlin: Springer; 2003.
- Pilla, A., Nasser, P., Kaufman, J., 1992. Cell communication significantly decreases thermal for electromagnetic bioeffects. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 14, pp. 300-301.
- Pohl, H.A., 1981. Electrical oscillation and contact inhibition of reproduction in cells. *Journal of Biological Physics* 9 (4), 191-200.
- Pohl, H.A., Pollock, J.K., 1986. *Modern Bioelectrochemistry*. Plenum press, New York and London, Ch. Biological Dielectrophoresis: The Behavior of Biologically Significant Materials in Nonuniform Electric Fields, pp. 329-375.
- Pokorný, J., Hasek, J., Jelínek, F., Saroch, J., Palán, B., 2001. Electromagnetic activity of yeast cells in the M phase. *Electro- and Magnetobiology* 20 (1), 371-396.
- Pokorný, J., Hasek, J., Vanis, J., Jelínek, F., May 2008. Biophysical aspects of cancer - electromagnetic mechanism. *Indian Journal of Experimental Biology* 46, 310-321.
- Portet, S., Tuszynski, J.A., Hogue, C.W.V., Dixon, J.M., 2005. Elastic vibrations in seamless microtubules. *European Biophysics Journal* 34 (7), 912-920.
- Preparata, G., 1995. *QED Coherence in Matter*. World Scientific, New Jersey, London, Hong Kong.
- Quickenden, T., Que Hee, S.S., 1974. Weak luminescence from the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and the existence of mitogenetic radiation. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 60 (2), 764-770.
- Quickenden, T., Que Hee, S.S., 1976. The spectral distribution of the luminescence emitted during growth of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and its relationship to mitogenetic radiation. *Photochemistry and Photobiology* 23 (3), 201-204.
- Quickenden, T., Tilbury, R., 1983. Growth dependent luminescence from cultures of normal and respiratory deficient

- saccharomyces cerevisiae. *Photochemistry and Photobiology* 37 (3), 337-344.
- Quickenden, T., Tilbury, R., 1991. Luminescence spectra of exponential and stationary phase cultures of respiratory deficient saccharomyces cerevisiae. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 8 (2), 169-174.
- Rajaram M, Mitra S. 1981. Correlation between convulsive seizure and geomagnetic activity. *Neurosci Lett* 1981;24:187-91.
- Reid B, Song B, McCaig CD, Zhao M. 2005. Wound healing in rat cornea: the role of electric currents. *FASEB J* 2005;19: 379-386.
- Rossi C, Foletti A, Magnani A, Lamponi S. 2011. New perspectives in cell communication: Bioelectromagnetic interactions. *Semin Cancer Biol.* 2011 Jun;21(3):207-14.
- Sirenko, Y.M., Stroschio, M.A., Kim, K.W., Jan 1996. Elastic vibrations of microtubules in a fluid. *Phys. Rev. E* 53 (1), 1003-1010.
- Slawinski, J., 1990. Necrotic photon emission in stress and lethal interactions, *Current Topics in Biophysics* 19, 8-27.
- Slawinski, J., 2003. Biophotons from stressed and dying organisms: toxicological aspects. *Indian Journal of Experimental Biology* 41, 483-493.
- Slawinski, J., 2005. Photon emission from perturbed and dying organisms: biomedical perspectives. *Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd* 12 (2), 90-95.
- Stocum DL. 1997. New tissues from old. *Science* 1997;276:15.
- Sun S, Liu Y, Lipsky S, Cho M. 2007. Physical manipulation of calcium oscillations facilitates osteodifferentiation of human mesenchymal stem cells. *FASEB J.* 2007 May;21(7):1472-80.
- Sun S, Wise J, Cho M. 2004. Human fibroblast migration in three-dimensional collagen gel in response to noninvasive electrical stimulus. I. Characterization of induced threedimensional cell movement. *Tissue Eng* 2004;10:1548-57.
- Tyner, K.M., Kopelman, R., Philbert, M.A., 2007. "Nano-sized voltmeter" enables cellular-wide electric field mapping. *Biophysical Journal* 93, 1163-1174.
- Valles Jr JM. 2002. Model of magnetic field-induced mitotic apparatus reorientation in frog eggs. *Biophys J* 2002;82:1260-5.
- Venkatraman K. 1976. Epilepsy and solar activity – an hypothesis. *Neurology (India)* 1976;24:1-5.
- Wang E, Zhao M, Forrester JV, McCaig CD. 2003. Bi-directional migration of lens epithelial cells in a physiological electrical field. *Exp Eye Res* 2003;76:29-37.
- Wang Q, Li L, Chen G, Yang Y. Effects of magnetic field on the sol-gel transition of methycellulose in water. *Carbohydr Polym* 2007;70:345-9.

- Wang, C., Li, C., Adhikari, S., 2009. Dynamic behaviors of microtubules in cytosol. *Journal of Biomechanics* 42 (9), 1270-1274.
- Wang, C., Ru, C., Mioduchowski, A., 2006. Vibration of microtubules as orthotropic elastic shells. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 35 (1), 48-56.
- Wang, C., Zhang, L., 2008. Circumferential vibration of microtubules with long axial wavelength. *Journal of Biomechanics* 41 (9), 1892-1896.
- Wever R. 1968. Influence of weak electromagnetic fields on the circadian periodicity of humans. *Naturwissenschaften* 1968;55:29-32.
- Zhadin, M., 2000. Review of russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 22 (1), 27-45.
- Zhadin, M., Deryugina, O., Pisachenko, T., 1999. Influence of combined DC and AC magnetic fields on rat behavior. *Bioelectromagnetics* 20 (6), 378-386.
- Zhadin, M., Giuliani, L., 2006. Some problems in modern bioelectromagnetics. *Electromagnetic Biology and Medicine* 25 (4), 227-243.
- Zhao M, Forrester JV, McCaig CD. 1999. A small, physiological electric field orients cell division. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999;96: 4942-4946.
- Zhao M, Song B, Pu J, Wada T, Reid B, Tai G, Wang F, Guo A, Walczysko P, Gu Y, Sasaki T, Suzuki A, Forrester JV, Bourne HR, Devreotes PN, McCaig CD, Penninger JM. 2006. Electrical signals control wound healing through phosphatidylinositol-3-OH kinase-gamma and PTEN. *Nature* 2006;442: 457-460.
- Zhou KX, Lu GW, Zhou QC, Song JH, Jiang ST, Xia HR. 2000. Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *J App Phys* 2000;88:1802-5.

Molekylær polaritet og dipolmoment i et elektromagnetisk felt:

- Fesenko, Novikov, Bobkova. 2003. , Decomposition of amyloid β -protein under the action of a weak magnetic field, *Biophysics* 48 (2003) 204-206.
- Fesenko, Evgenii; Gluvstein, Alexander Ya., 1995. Changes in the state of water, induced by radiofrequency electromagnetic fields. *FEBS Letters* , Volume 367 , Issue 1 , 53 - 55
- Hinrikus H, Lass J, Karai D, Pilt K, Bachmann M. 2014. Microwave effect on diffusion: a possible mechanism for non-thermal effect. *Electromagn Biol Med*. 2014 May 23:1-7.
- Novikov, Fesenko. 2001. Hydrolysis of some peptides and proteins in a weak combined (constant and low-frequency variable) magnetic field, *Biophysics* 46 (2001) 233-238.

Vegiri, A. 2004. Reorientational relaxation and rotational-translational coupling in water clusters in a d.c. external electric field, *J. Mol. Liq.* 110 (2004)155 –168.

Makromolekylers foldning og strukturelle konformitet

Anfinsen CB (1973). "Principles that govern the folding of protein chains". *Science* 181 (4096): 223–230

English, Niall J., Kusalik, Peter G., Woods, Sarah A. 2012. Coupling of translational and rotational motion in chiral liquids in electromagnetic and circularly polarised electric fields. *THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS* 136, 094508 (2012),

French, Peter W., Penny, Ronald., Laurence, Jocelyn A., McKenzie, David R. 2000. Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation* (2000) 67:93–97

Leszczynski, Dariusz., Joenväärä, Sakari., Reivinen, Jukka., Kuokka, Reetta. 2002. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* (2002) 70:120–129

Levinthal, Cyrus (1969). "How to Fold Graciously". *Mossbauer Spectroscopy in Biological Systems: Proceedings of a meeting held at Allerton House, Monticello, Illinois: 22–24.*

M. Barteri, A. Pala and S. Rotella, Structural and kinetic effects of mobile phone microwaves on acetylcholinesterase activity, *Biophys. Chem.* 113 (2005) 245-253. [Back]

Shaw, D.E. et al. 2010. Atomic-Level Characterization of the Structural Dynamics of Proteins. *Science* 330, 15 October 2010,p341-346.

de Pomerai, David I., Smitha, Brette., Dawea, Adam., North, Kate., Smitha, Tim., Archera, David B., Ducea, Ian R., Jones, Donald., Candido, E. Peter M., 2003. Microwave radiation can alter protein conformation without bulk heating. *FEBS Letters* 543 (2003) 93-97

Vridningsresonans i makromolekyler

Bohr J, Bohr H. 1997. The implication of topology for protein structure and aggregation. *Z. Physik D* 40: 186-198.

Bohr, J., Bohr, H., Brunak, S. 1997a. Protein folding and wring resonances. *Biophysical Chemistry* 63, 1997, p97-105

Bohr, H., Brunak, S., Bohr, J., 1997b. Molecular Wring Resonances in Chain Molecules. *Bioelectromagnetics* 18:187–189 (1997)

Bohr, H., Bohr, J., 2000. Microwave Enhanced Kinetics Observed in ORD Studies of a Protein. *Bioelectromagnetics* 21, 2000, p68-72

Bohr, H., Bohr, J., 2000a. Microwave-enhanced folding and denaturation of globular proteins. *Physical Review*,

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.*

Volume 61, Number 4, april 2000, p4310-4314

Calcium efflux

Goldsworthy A, 2006. 'Effects of electrical and electromagnetic fields on plants and related topics'. In Plant Electrophysiology – Theory and Methods. Ed. Volkov A G (Springer, Berlin, Hiedelberg, New York).

Goldsworthy, A., 2008. The Cell Phone and the Cell. 1st Hellenic Congress - The Effects of Electromagnetic Radiation. Thessalonica, 24-25 May 2008

Goldsworthy, A., 2012. The Biological Effects of Weak Electromagnetic Fields - Problems and solutions

Pall, Martin. 2015. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. J Chem Neuroanat. 2015 Aug 21. doi: 10.1016/j.jchemneu.2015.08.001. [Epub ahead of print]

Frie Radikaler:

Abu Khadra KM, Khalil AM, Abu Samak M, Aljaberi A. 2015. Evaluation of selected biochemical parameters in the saliva of young males using mobile phones. Electromagn Biol Med. 2015 Mar;34(1):72-76

Atasoy HI, Gunal MY, Atasoy P, Elgun S, Bugdayci G. 2012. Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices. J Pediatr Urol. 2013 Apr;9(2):223-229.

Avcı B, Akar A, Bilgici B, Tunçel ÖK. 2012. Oxidative stress induced by 1.8 GHz radio frequency electromagnetic radiation and effects of garlic extract in rats. Int J Radiat Biol. 88(11):799-805, 2012.

Ayata A, Mollaoglu H, Yilmaz HR, Akturk O, Ozguner F, Altuntas I. 2004. Oxidative stressmediated skin damage in an experimental mobile phone model can be prevented by melatonin. Dermatol. 31(11):878-883, 2004.

Aydin B, Akar A. 2011. Effects of a 900-MHz electromagnetic field on oxidative stress parameters in rat lymphoid organs, polymorphonuclear leukocytes and plasma. Arch Med Res. 42(4):261-267, 2011.

Aynali G, Nazıroğlu M, Celik O, Doğan M, Yarıktaş M, Yasan H. 2013. Modulation of wireless (2.45 GHz)-induced oxidative toxicity in laryngotracheal mucosa of rat by melatonin. Eur Arch Otorhinolaryngol. 270(5):1695-1700, 2013.

Bilgici B, Akar A, Avcı B, Tuncel OK. 2013. Effect of 900 MHz radiofrequency radiation on oxidative stress in rat brain and serum. Electromagn Biol Med. 32:20-29, 2013.

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, 2013.

Deshmukh PS, Banerjee BD, Abegaonkar MP, Megha K, Ahmed RS, Tripathi AK, Mediratta PK. 2013. Effect of low level microwave radiation exposure on cognitive function and oxidative stress in rats. Indian J Biochem Biophys.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

50(2):114-119, 2013.

Devrim E, Ergüder IB, Kılıçoğlu B, Yaykaşlı E, Cetin R, Durak I. 2008. Effects of Electromagnetic Radiation Use on Oxidant/Antioxidant Status and DNA Turn-over Enzyme Activities in Erythrocytes and Heart, Kidney, Liver, and Ovary Tissues From Rats: Possible Protective Role of Vitamin C. *Toxicol Mech Methods*. 18(9):679-683, 2008.

Eser O, Songur A, Aktas C, Karavelioglu E, Caglar V, Aylak F, Ozguner F, Kanter M. 2013. The effect of electromagnetic radiation on the rat brain: an experimental study. *Turk Neurosurg*. 2013;23(6):707-15.

Esmekaya MA, Ozer C, Seyhan N. 2011. 900 MHz pulse-modulated radiofrequency radiation induces oxidative stress on heart, lung, testis and liver tissues. *Gen Physiol Biophys*. 30(1):84-89, 2011

Garaj-Vrhovac V, Gajski G, Pažanin S, Sarolić A, Domijan AM, Flajs D, Peraica M. 2011. Assessment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radar equipment. *Int J Hyg Environ Health*. 4(1):59-65, 2011.

GoldsworthLai H, Singh NP, 1997a. Melatonin and N-tert-butyl-alpha-phenylnitron block 60-Hz magnetic field-induced DNA single and double strand breaks in rat brain cells. *J Pineal Res* 1997 Apr;22(3):152-62.

Goldsworthy A, 2006. Effects of electrical and electromagnetic fields on plants and related topics. In *Plant Electrophysiology – Theory and Methods*. Ed. Volkov A G (Springer, Berlin, Hiedelberg, New York).

Goldsworthy, A., 2008. The Cell Phone and the Cell. 1st Hellenic Congress - The Effects of Electromagnetic Radiation. Thessalonica, 24-25 May 2008

Goldsworthy, A., 2012. The Biological Effects of Weak Electromagnetic Fields - Problems and solutions

Hanc H, Odac E, Kaya H, Aliyazıcıoğlu Y, Turan I, Demir S, Colakoğlu S. 2013. The effect of prenatal exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle. *Reprod Toxicol*. 42:203-209, 2013.

Herzberg, G., 1971. The spectra and structures of simple free radicals. Cornell University Press

Hässig M, Jud F, Naegeli H, Kupper J, Spiess BM. 2009. Prevalence of nuclear cataract in Swiss veal calves and its possible association with mobile telephone antenna base stations. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 151(10):471-478, 2009.

Höytö A, Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. 2008. Proliferation, oxidative stress and cell death in cells exposed to 872 MHz radiofrequency radiation and oxidants. *Radiat. Res*. 170(2):235-243, 2008.

Jelodar G, Akbari A, Nazifi S. 2013. The prophylactic effect of vitamin C on oxidative stress indexes in rat eyes following exposure to radiofrequency wave generated by a BTS antennamodel. *Int J Radiat Biol*. 89(2):128-131, 2013.

Jelodar G, Nazifi S, Akbari A. 2013a. The prophylactic effect of vitamin C on induced oxidative stress in rat testis following exposure to 900 MHz radio frequency wave generated by a BTS antenna model. *Electromagn Biol Med*. 2013 Jan 16.

Lai H, 1998. Neurological effects of radiofrequency electromagnetic radiation, Mobile Phones and Health,

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. *Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab*.

Symposium, October 25-28, 1998, University of Vienna, Austria.

Lai H, Singh NP, 1997b. Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1997;18:446-54.

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z. 2013. Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line. *Toxicol Lett* 218(1): 2-9, 2013.

Lu YS, Huang BT, Huang YX. 2012. Reactive Oxygen Species Formation and Apoptosis in Human Peripheral Blood Mononuclear Cell Induced by 900 MHz Mobile Phone Radiation. *Oxid Med Cell Longev.* 2012:740280, 2012

López-Riquelme, G.O., López-Sandoval, E., Vera-Aguilar, E., Godina-Nava¹, J.J., 2015. Modulation of radical pairs dynamics immersed in an ELF- EMF: The effect on hepatocarcinogenesis. *Journal of Physics: Conference Series* 582 (2015) 012048

Manta AK, Stravopodis DJ, Papassideri IS, Margaritis LH. 2014. Reactive oxygen species elevation and recovery in *Drosophila* bodies and ovaries following short-term and long-term exposure to DECT base EMF. *Electromagn Biol Med.* 2014 Jun;33(2):118-31

McLaughlan, K.A., 1992. Are Environmental Electromagnetic Fields Dangerous?. *Phys World* 1992, January:41-5

McLaughlan, K.A., Steiner, U.E. 1994. The spin-correlated radical pairs a reaction intermediate. *Mol Phys* 1994;73:241-263

Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Abegaonkar MP. 2012. Microwave radiation induced oxidative stress, cognitive impairment and inflammation in brain of Fischer rats. *Indian J Exp Biol.* 50(12):889-896, 2012. (LI)

Ozorak A, Nazıroğlu M, Celik O, Yüksel M, Özçelik D, Ozkaya MO, Cetin H, Kahya MC, Kose SA. 2013. Wi-Fi (2.45 GHz)- and Mobile Phone (900 and 1800 MHz)-Induced Risks on Oxidative Stress and Elements in Kidney and Testis of Rats During Pregnancy and the Development of Offspring. *Biol Trace Elem Res.* 2013 Dec;156(1-3):221-9

Scaiano JC, Cozens FL, McLean J, 1994. Model for the rationalization of magnetic field effects in vivo. Application of the radical-pair mechanism to biological systems. *Photochem Photobiol* 1994 Jun;59(6):585-89.

Sokolovic D, Djindjic B, Nikolic J, Bjelakovic G, Pavlovic D, Kocic G, Krstic D, Cvetkovic T, Pavlovic V. 2008. Melatonin reduces oxidative stress induced by chronic exposure of microwave radiation from mobile phones in rat brain. *J Radiat Res (Tokyo).* 49(6):579-586, 2008

Tomruk A, Guler G, Dincel AS. 2010. The influence of 1800 MHz GSM-like signals on hepatic oxidative DNA and lipid damage in nonpregnant, pregnant, and newly born rabbits. *Cell Biochem Biophys.* 56(1):39-47, 2010.

Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, Zhang W, Wang Y, Wang X, Li M, Chen Y, Chen C, He M, Zhang G, Zhong M. 2010. Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. *Brain Res.* 1311:189-196, 2010.

Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. 2015. Oxidative mechanisms of

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter.* Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med*. 2015 Jul 7:1-16. [Epub før udgivelse]

Dielektriske virkninger på cellulært niveau:

Havas, Magda. 2013. Radiation from wireless technology affects the blood, the heart, and the autonomic nervous system. *Rev Environ Health* 2013; 28(2-3): 75–84

Sernelius, Bo E., 2004. Possible induced enhancement of dispersion forces by cellular phones. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2004, 6, 1363–1368

Sernelius, Bo E., 2006. Unconventional Approach to Biological Effects of EMF. I: Ayrapetyan, S. N. & Markov, M. S. 2006. *Bioelectromagnetics*. Springer, Holland. p155 – 167.

Taghi M, Gholamhosein R, Saeed RZ., 2013. Effect of radio frequency waves of electromagnetic field on the tubulin. *Recent Pat Endocr Metab Immune Drug Discov*. 2013 Sep;7(3):252-6.

HSP'ere, Fraktalantenner og elektronbaseret DNA-interaktion

Blank M, Goodman R. 1997. Do electromagnetic fields interact directly with DNA? *Bioelectromagnetics*. 1997;18(2):111-5.

Blank M, Goodman R. 2011. DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol*. 2011 Apr;87(4):409-15.

Blank, M. 2005. A proposed explanation for effects of electric and magnetic fields on the Na,K-ATPase in terms of interactions with electrons, *Bioelectromagnetics* 26 (2005) 591–597.

Blank, M. 2008. Protein and DNA interactions with electromagnetic fields, *Electromagn Biol Med* 28 (2008) 3–23.

Blank, M., Khorkova, O., Goodman, R. 1994. Changes in polypeptide distribution stimulated by different levels of EM and thermal stress, *Bioelectrochem Bioenerg* 33 (1994) 109–114.

Czyz, J., Guan, K., Zeng, Q., Nikolova, T., Meister, A., Schönborn, F., Schuderer I., Kuster, N., Wobus, A.M. 2004. High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells, *Bioelectromagnetics* 25 (2004) p296–307.

Goodman R, Henderson AS. 1988. Exposure of salivary gland cells to low frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis. *Proceedings of the National Academy of Science (US)* 85:3928–3932.

Goodman, R. & Blank, M. 1998. Magnetic field stress induces expression of hsp70, *Cell Stress Chaperones* 3 (1998) 79–88.

Johnson, D.L. & Johnson, S.A.S. 2008. RNA metabolism and oncogenesis, *Science* 320 (2008) 461–462.

Citer denne udgivelse som:

Horsevad, Kim. 2017. *Biofysiske interaktionsmekanismer for bioreaktivitet fra elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter*. Forskningsorientering #1, Elektrobiologisk Selskab.

Lin H, Blank M, Rossol-Haseroth K, Goodman R. 2001. Regulating genes with electromagnetic response elements. *Journal of Cell Biochemistry* 81:143–148.

Lin, H, Blank M, Head M, Goodman R. 1999. Magnetic fieldresponsive domain in the human HSP70 promoter. *Journal of Cell Biochemistry* 75:170–176.

Martin B., & Goodman, R. 2009. DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.*, Vol. 87, No. 4, April 2011, pp. 409–415

Martin B., & Goodman, R. 2009. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology* 16 (2009) 71–78

Slinker JD, Muren NB, Renfrew SE, Barton JK. 2011. DNA charge transport over 34 nm. *Nat Chem.* 2011 Mar;3(3):228-33.

de Pomerai, D.I., Daniells, C., David, H., Allan, J., Duce, I., Mutwakil, M., Thomas, D., Sewell, P., Tattersall, J., Jones, D. 2000. Non-thermal heat-shock response to microwaves, *Nature* 6785 (2000) p417–418.