

Арно Тиленс, Университет Гент, Белгия

Заключения

Ниски телекомуникационни честоти (450 MHz - 6 GHz)

Гръбначни

Клетъчни изследвания

От всички прегледи на изследванията, които се фокусират върху клетъчната генотоксичност на излагането на радиочестоти и електромагнитно поле (RF-EMF), пет заключват, че генотоксичният ефект от излагането на RF-EMF е (много) слаб или несъществуващ. Две стигат до извода, че има генотоксичен ефект, но те се базират на много ограничен преглед на съществуващата литература. Другите изследвания, включително най-скорошният и най-обемният преглед (VijayaIaxmi и Prihoda 2018), или не стигат до извод или стигат до извода, че научната литература показва смесени резултати или такива, от които не могат да бъдат направени изводи. Изследванията за ефекта от излагане на RF-EMF върху клетъчната трансформация, и особено върху апоптозата, са със смесен резултат. Повечето изследвания не правят изводи. Тези, които са направили заключения, твърдят, че не са намерили ефекта на причинена от радиочестоти апоптоза и са открили слаби доказателства за размножаването на клетките. Трябва да се отбележи обаче, че тези изводи са подкрепени основно от доказателства от клетъчни изследвания при човека и че изследванията върху други гръбначни показват смесени резултати. Няколко прегледа докладват за изменения на йонните канали през клетъчната мембрана при излагане на RF-EMF. Други намират, че причинените от радиочестотите йонни сигнали са слаби. Прегледите предоставят смесени наблюдения дали излагането на RF-EMF може да доведе до поява на термични шокови протеини (HSPs). Повечето изследвания заключват, че излагането на RF-EMF няма или има силно ограничен ефект върху производството на реактивни кислородни видове (ROS). Два прегледа правят извода, че RF-EMF може да активират изолирани неврони. Тези прегледи, които изследват ефектите на излагането на RF-EMF върху генното изразяване в гръбначните (освен човека), заявяват, че няма достатъчно изследвания за достигане до изводи.

Изследвания върху животни

Няколко прегледа показват диелектрично нагряване на животните и повишаване на телесната им температура. Терморегулаторният отговор на цялото тяло на излагането на RF-EMF не е различен на отговора към други видове нагряване. Този отговор включва промени в ефекта на производството на метаболитна топлина, сърдечния ритъм и кръвното налягане. Тези прегледи, които вземат предвид генотоксичността на излагането на RF-EMF, установена в две изследвания *in vivo*, намират резултатите за противоречиви. Има, разбира се изследвания, които демонстрират генотоксичността на излагането на RF-EMF изследвания *in vivo*, но някои от тях са критикувани в тези прегледи. Няколко прегледа са се фокусирали върху причинените от RF-EMF (преходни) ефекти върху пропускливостта на кръвно-мозъчна бариера Някои заключват, че пропускливостта може да бъде изменена при високи (локализирани) нива на SAR¹. Други прегледи стигат до извода, че доказателствата за подобен ефект са слаби. Един преглед обяснява тези противоречия в литературата с това, че по-ранните изследвания намират ефекти, а по-късни и по-качествени

¹ SAR - специфична скорост на абсорбция

изследвания не могат да го възпроизведат. Два прегледа коментират ефектите от излагане на RF-EMF върху EEG сигналите и електрическата активност на мозъка. Едното разглежда мозъчните функции и структура и достига до смесени изводи за ефекта. Един преглед докладва за ефекта от излагане на RF-EMF върху свойствата на невротрансмитерите. Няколко прегледа твърдят, че животните могат да чуят RF-EMF пулсации над определена честота, т.нар. микровълнов слухов ефект. Те обаче докладват, че има малко доказателства, че телекомуникационните сигнали могат да доведат до подобен ефект. Много малък брой изследвания изучават ефектите от излагане на RF-EMF върху ендокринната система и повечето не намират последствия. Повечето от прегледите, съсредоточени върху ефекта от излагане на RF-EMF върху сърдечно-съдовата система, го разглеждат в рамките на диелектричното нагряване. Тези изследвания, които не намират терморегулаторен отговор, не намират и отражения върху пулса и кръвното налягане. Прегледите на изследванията на ефекта от излагане на RF-EMF върху хематологията и имунната система намират преходни ефекти, които може да са резултат от терморегулаторен отговор. Само един преглед изследва ефекта от излагане на RF-EMF върху кожата и представя смесени изводи. Няколко изследвания третират ефекта от излагане на RF-EMF върху очите и докладват, че тези ефекти съществуват и могат да се дължат на терморегулаторен отговор. Прегледите върху поведенческите ефекти от излагане на RF-EMF намират поведенчески отговор на диелектричното нагряване и докладват смесени резултати за поведенчески отговор на нетермалното излагане.

Изследвания върху околната среда

Изследванията за ефектите върху околната среда от излагане на RF-EMF са основно съсредоточени върху поведението на гръбначните и по-конкретно гнездене, възпроизводство, ориентация и численост в районите на източници на RF-EMF. Има няколко изследвания, които стигат до извода, че могат да се наблюдават последствия в поведението на птиците и прилепите при излагане на RF-EMF. Две прегледани изследвания върху крави показват ефекти от излагане на RF-EMF по време на развитието. Няколко изследвания наблюдават ефекти върху възпроизводството при птиците. Един от прегледите разглежда ефектите на нискочестотно RF-EMF върху ориентирането на птиците.

Безгръбначни

Излагането на безгръбначни на RF-EMF в честотния спектър 0.4-6 GHz е изследвано от няколко автори. Диелектричното нагряване на безгръбначните с RF-EMF е демонстрирано в множество изследвания и диелектричните свойства на безгръбначните в този спектър също са проучвани. Повечето изследвания, които не целят да индуцират диелектрично нагряване, се фокусират върху ефектите върху развитието, генетиката и поведението. Проучванията *in vitro* на нервни клетки на безгръбначни показват, че излагането на RF-EMF води до повишена неврална активност. Проучванията *in vivo*, в лабораторни условия, са изправени пред няколко проблема и не могат да представят категорични заключения по серия от изследваните параметри. Необходими са проучванията с по-добро изследване на изложените групи, на sham групите и на контролните групи. Изследванията на околната среда представят интересен подход, защото по замисъл използват реалистични условия на излагане. Но те също са изправени пред определени ограничения на оценката на излагането на RF-EMF. Изследванията на безгръбначни, извън насекомите, са изключително малко (9 от 70 прегледани изследвания). Като се има предвид, че всички

изследвания намират ефект от излагане на RF-EMF (дори при експерименталните ограничения), изглежда логично да се направят повече изследвания в тази посока.

Растения и гъби

Диелектричното нагряване на растения и семена с използването на RF-EMF под 6 GHz е възможно, ако се използват високи нива на вълни. Това нагряване може да има положителен ефект за някои растения при кратък период на излагане, но след определено време на излагане води до смъртност при растенията. На най-ниски нива на излагане на RF-EMF, тези ефекти, демонстрирани в литературата, изглежда се случват в кратък времеви период и на определени честоти, модулации или продължителност. Изследванията за дългосрочния ефект от излагане на ниско интензивни (в сравнение с честотите, необходими за диелектрично нагряване) изглежда не доказват ефекти, но броят изследвания и обхватът на изучаваните растения и особено гъби е ограничен. Предложени са някои интересни изследвания на околната среда, но в момента им липсва добра контролна група. Бъдещите изследвания трябва да се фокусират върху (1) по-качествени контролни и sham-контролни групи (2) наблюдаване на температурата по време на целия експеримент и (3) количествено измерване на излагането на RF-EMF на контролните групи и тестовите групи по време на целия експеримент.

Високи телекомуникационни честоти (6-300 GHz)

Гръбначни

Клетъчни изследвания

Няколко изследвания показват диелектрично нагряване на клетките. Има ограничен брой изследвания за генотоксичността със слаба контролна група и оценка на излагането. Невралната активация при използване на пулсиращи RF-EMF е разгледана от няколко изследвания с качествена контролна група. Промените в параметрите на високия потенциал за действие при излагане на RF-EMF са ясно илюстрирани. Изследванията на промените в клетъчната трансформация не показват термичен ефект. Други изследвания *in vitro* показват производството реактивни кислородни видове (ROS) при неутрофилите на мишки под влияние на излагането на RF-EMF. Не е ясно доколко този ефект е термично индуциран или не. Бяха демонстрирани някои ефекти върху параметрите на йонните канали, но те са доказано термични по природа. Няма намерени ефекти върху клетъчния метаболизъм и мембранните рецептори при плъхове.

Изследвания върху животни

Няколко изследвания демонстрират повишаване на основната телесна температура при излагане на RF-EMF. При голяма плътност на мощността, това може да доведе до смърт на гръбначните заради срив на кръвоносната система. Праговете на плътността на мощност и времето на излагане са определени при мишки и плъхове и са изследвани няколко телесни параметъра (кръвно налягане, пулс, основна телесна температура и температура на кожата) по време на нагряване с RF-EMF. Поведенческите аспекти са изследвани при животни с много по-ниски плътности на мощността. Налице са смесени резултати за поведението на животните пред X-Band радар. Някои изследвания сочат промени в поведението, а други не намират такъв ефект. Изследванията на

животинска сперма при 10 GHz сочат намаляване на броя на сперматозоидите при 52 дни излагане на сравнително висок интензитет. Ефектът изглежда термичен. Смесени ефекти се докладват при растежа на инжектирани в гризачи ракови клетки. Тези изследвания, които наблюдават ефект, докладват за забавяне на развитието на тумори. Излагането на очите на RF-EMF може да доведе до корнеални лезии и катаракта. Но все още има дебат какви са праговите стойности, при които може да се наблюдава този ефект. Описани са няколко ефекта върху невростимулацията *in vivo*, но броят изследвания е ограничен. Някои изследвания от същата група проучвания показват, че излагането на RF-EMF може да доведе до хипоалгезия при мишките. Ефектът на излагането на RF-EMF върху имунния отговор е изследван от няколко автора и повечето показват, че RF-EMF може да се използва, за да провокира антивъзпалителен отговор до определена доза. Накрая, едно изследване намира ефект от излагането на RF-EMF върху EEG спектъра.

Безгръбначни

Диелектричното нагряване на безгръбначните в диапазона 6-300 GHz е наблюдавано в няколко изследвания. Проучванията, които изследват излагането на сравнително висок интензитет RF-EMF, намират ефекти върху невралните отговори (*in vitro*) и върху развитието на насекомите (*in vivo*). Два научни доклада представят експерименти под базовите ограничения на RF-EMF на ICNIRP в този диапазон и намират ефекти върху развитието на насекомите. Нужни са повече изследвания при тези нива на излагане, за да се верифицират наблюдаваните ефекти при реалистични нива на излагане. Броят на изследванията *in vivo* за излагането на RF-EMF на безгръбначни във високите честоти е много ограничен и трябва да бъде разширен в бъдеще.

Растения и гъби

Диелектричното нагряване се наблюдава при растения при диапазон 6-300 GHz. За да се проучат други ефекти, тези изследвания трябва да се фокусират върху правилното измерване на излагането в тестови, контролни и sham групи. Нещо повече трябва да се проучи дали въобще е необходима sham група за подобни изследвания. Серия доклади показват, че правилно организираното излагане на sham групи може драстично да промени тълкуването на резултата в тази сфера.

Възможни политики

Въз основа на прегледа, представен в този документ и направените изводи, се предлагат три възможни политики.

Финансиране на изследванията за ефекта от излагане на RF-EMF върху околната среда

Насоките, които формират основата за политики в повечето европейски държави, са насоките на Международния комитет за защита от нейонизираща радиация (ICNIRP) (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)¹ 2020). И докато работата на ICNIRP е ценна при формирането на политики, трябва да отбележим, че обхватът на тези препоръки е ограничен до хората. Тези насоки вземат предвид само литературата за значими биологични ефекти, които оказват негативно влияние върху човешкото здраве. Насоките на ICNIRP не се фокусират върху превенцията на нежелани биологични ефекти от излагането на RF-EMF на животни, растения или гъби. Политиките и законодателството, предотвратяващи ефектите от RF-EMF, трябва да бъдат основани на научната литература, която изследва ефектите върху гръбначните (освен човека), безгръбначните, растенията, гъбите и други организми. Затова, ако отговорните за политиките лица искат да се фокусират върху политики, опазващи другите форми на живот, освен човека, трябва да базират решенията си на научната литература, която изследва именно тези форми на живот. Това не е проста задача, защото, както сочи настоящият преглед, има области, в които тези изследвания са недостатъчни.

Първият проблем е огромното различие в броя публикации, които касаят гръбначните животни и онези, които третират други видове. На честотите, на които оперират сегашните телекомуникационни мрежи (0.4- 6 GHz), има стотици изследвания за ефекта от излагането на RF-EMF при гръбначните и хората (вж. например броят публикации цитиран от Vecchia 2009). Литературата за безгръбначните в същия диапазон е силно ограничена (приблизително 100 доклада) и голяма част от тях проучва насекоми. В тази група докладите за излагане на RF-EMF на безгръбначни, различни от насекомите, са по-малко от 10. Докладите за влиянието на вълните под 6 GHz върху растения и гъби (около 100) е също много малък в сравнение с изследванията върху гръбначни. В допълнение, много от изследванията върху безгръбначни, растения и гъби, имат редица изследователски проблеми.

Вторият въпрос е сравнително малкият на брой публикации за излагане на RF-EMF на организми, различни от човека, в диапазона 6-300 GHz (около 250). Това е значим въпрос с оглед на факта, че 5G ще оперира именно на честоти между 6 и 300 GHz. Този брой публикации е значително по-малък от изследванията за ефекта от RF-EMF в диапазона 0.4 - 6 GHz. И за високите честоти има подобна разлика в изследванията върху гръбначни, безгръбначни, растения и гъби както и при изследванията на по-ниските. Има разумен брой изследвания за гръбначните (различни от човека) (<150 публикации), а докладите за безгръбначни (<50), гъби (<15) и растения (<15) са малобройни.

За да се преодолеят тези недостатъци в настоящото научно познание, първата възможност за политики е финансирането на изследвания, които да доведат до по-качествени научни резултати за влиянието на честотите под 6GHz върху безгръбначните, растенията и гъбите и за влиянието на честоти от 6 до 300 GHz при гръбначните (различни от човека), безгръбначните, растенията и гъбите. Резултатите от тези изследвания могат да формират основа за разработване на политики за излагането на RF-EMF при организмите, различни от човека.

Системно замерване и мониторинг на излагането на RF-EMF в околната среда

За да оценим дали са необходими мерки за защита на даден организъм при излагане са необходими два елемента. Първо трябва да се докаже, че излагането води до вредни ефекти или поне е необходимо да има несигурност по отношение на възможните ефекти. Второ, трябва да има риск от (значително) излагане. Като се има предвид сравнително малкия брой научни изследвания за ефектите от излагане на RF-EMF за някои категории, за които правим обзор в този документ, има несигурност по отношение на ефектите от потенциално излагане. Но все още стои въпросът какво точно ще е излагането на RF-EMF на организмите, различни от човека.

Както беше изложено по-горе в документа, почти всички организми, различни от човека, попадат в категорията не-потребители на RF-EMF. Затова водещите източници на излагане са отдалечените източници на RF-EMF – това е тъй нареченото излагане от околната среда. По-горе беше отбелязано, че това ще се промени с 5G. Но тъй като почти няма 5G, които да са напълно функциониращи в момента, е трудно да се предскаже това излагане. Затова, втората възможност за политики може да бъде изискване за системно измерване и мониторинг на RF-EMF от околната среда.

Трябва да се обърне особено внимание на онези области, в които организмите, различни от човека, са по-доминиращи. По-голяма част от съществуващите изследвания са с основен фокус човекът и по-голяма част от замерванията са направени в среда, в която преобладаването на другите организми е сравнително ниско (Bhatt et al. 2016; Bolte and Eikelboom 2012; P. Frei et al. 2009; Sagar et al. 2016; 2018; Thielens, Van den Bossche, et al. 2018; Urbinello, Huss, et al. 2014; Velghe et al. 2019b). Има няколко изследвания, които проучват излагането на RF-EMF от околната среда на организми, различни от човека (Vijver et al. 2014; Lázaro et al. 2016; Mittler 1977; Pramod and Yogesh 2014; Balodis et al. 1996; M. Cammaerts and Johansson 2015; Haggerty 2010; Magone 1996; Waldmann-Selsam et al. 2016). Тази линия на изследвания трябва да бъде разширена.

Протоколът за замервания на излагането на RF-EMF за 5G мрежите тепърва се разработва (Aerts et al. 2019) и може да се използва и за измервания на излагането от околната среда. Но тези замервания изискват обучени техници или учени, които да ги извършват, и отнемат много време. Алтернатива може да бъде разполагането на мрежи за мониторинг на RF-EMF (Aerts et al. 2018; Vermeeren et al. 2019; Dürrenberger et al. 2014). Това са мрежи от възли, които могат да измерят излагането на RF-EMF, разположени стратегически в дадена площ, в която трябва да се направят измервания. Тези мрежи за мониторинг имат предимството да бъдат разположени веднъж и да дават своевременна информация, без да е необходимо да има техник на място. Разбира се, разполагането на такива мрежи е свързано с разходи.

Мониторинг на антените на базовите станции

Алтернатива на извършването на замервания на излагането на RF-EMF от околната среда е мониторингът на изходящите мощности на основния източник на RF-EMF: антените на базовите станции. Мрежовите оператори регулират изходящата мощност в зависимост от натоварването на мрежата и нуждите на потребителите. Показано е в литературата (Shikhantsov et al. 2020), че ако имаме коректна информация за предварителното кодиране на антените в базовите станции, можем да определим нивата на излагането в околната среда, чийто източник са тези антени. Това

може да бъде използвано в по-голям мащаб в комбинация с методите, предложени от Beekhuizen et al. 2013; 2014; Bürgi et al. 2010. Тази информация обаче не е публично достъпна.

Затова трета възможност за политики би било изискване тази информация да стане публична, тоест операторите да оповестяват използваните от тях антени, операционни честоти, предварителното кодиране, използвано във времето, изходящите мощности във времето и спецификациите за инсталиране на антените. Възможно е, като алтернатива, да се създаде независим експертен орган, който може да интерпретира данните, ако има причини (търговска тайна или др.) информацията да не бъде оповестявана публично. Тези данни могат да бъдат използвани като входящи за методите, изброени по-горе, за да се измери със задна дата излагането на RF-EMF. Тази информация може да бъде полезна ако междуременно породни нови идеи в науката и позволи на операторите да продължат с необходимото обновяване на техните мрежи.

Изследвания за съответствие или превенция на високи нива на излагане на RF-EMF в близост до антени на базови станции за всички живи организми.

Има случаи, в които е ясно, че ще се случи високо ниво на излагане на RF-EMF: животните, които се придвижват, могат да преминат в близост до базови станции или такива трансмитери може да бъдат инсталирани в близост до дървета. В този случай е възможно да се приложат мерки, които ще гарантират физическо разделяне между базовата станция и организмите, изложени на лъчение, които са близки до онези, които се прилагат за хората. Инсталирането на такива антени е регулирано и обичайно се изисква оценка на съответствието с препоръките на ICNIRP. Тези препоръки се основават на връзката между базовите ограничения на специфичното ниво на абсорбиране (SAR) тоест опосредствано термично загряване в резултат на излагане на RF-EMF, и инцидентните нива на RF-EMF или т.нар. референтни нива. Именно базовите ограничения и референтните нива се използват най-често за оценка на съответствието на новоинсталираните базови станции (Thors et al. 2017; Varacca et al. 2018; Thielens et al. 2013) и в резултат се ограничават изходящите мощности на тези антени. Поставят се и физически бариери около антените, за да ограничат достъпа на населението до тях. Подобни бариери могат да се поставят, за да ограничат приближаването на летящите животни и, въз основа на измервания и числени симулации, да се гарантира минимално отстояние от вече съществуващите растения.

Четвърта възможност за политики е именно изискването за изследване на съответствието за организми, различни от хората, когато се инсталира нова базова станция. Тези изследвания ще предоставят количествено измерване на излагането на даден обект в близост до антена и ще доведат до ограничение на изходната мощност и задаването на минимално отстояние, базирано на потенциалното излагане. Поради това, че диелектричното нагряване е доказано във всички изследвания на различните категории, обект на този преглед, този ефект трябва да бъде предотвратен. Проучването на съответствието трябва да се случи за всички организми, които вероятно ще се намират близо до антената и излъчваните мощности на тези антени трябва да отговарят на резултатите от проучването. Типични примери са прилепите, птиците, насекомите и близките растения.

Сегашните проучвания на съответствието са съсредоточени върху хората и не са достатъчни, за да предотвратят термичния ефект върху останалите организми. Физичните механизми на нагряването

при излагане на RF-EMF са едни и същи при всички биологични организми. Но връзката между излагането, дозиметричните количества и увеличението на температурата, използвани в препоръките на ICNIRP се базират на ефектите при човека и на експерименти с животни (основно гръбначни). Тези съотношения са различни за другите организми, които могат да притежават значително различни характеристики, като съотношение повърхност-обем, диелектрични свойства, термични свойства, терморегулация и физически размер.

Основната разлика между първата и четвъртата възможност за политики е, че първата се фокусира върху необходимостта от придобиване на научни знания за биологичните ефекти от излагането на RF-EMF, докато това предложение изисква технически подобрения в съответствието на антените в базови станции. Да се докаже предпазването на диелектричното нагряване в организмите, различни от човека, е възможно и със съществуващите и в момента научни методи.