

---

## THE CHALLENGES OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION- ARE WE READY FOR THEM - A MINI REVIEW

**Vassilka Ilieva**

Medical College, Medical University–Plovdiv, Bulgaria, [Vasilka.Ilieva@mu-plovdiv.bg](mailto:Vasilka.Ilieva@mu-plovdiv.bg)

**Abstract:** The Earth's electromagnetic field (EMF) is a factor in the functioning of the body, cognition and the human psyche. The electromagnetic background of modern civilization consists of the natural, magnetic, and electric fields of the earth, and the solar and cosmic radiations as well. They are important for the organization of life and evolution. The development of civilization in the 20th century is related to the use of electromagnetic fields of anthropogenic origin radiated by power lines, transformers, televisions, smartphones, computers, routers, Wi-Fi, base stations, Bluetooth devices, fluorescent lamps, industrial sources, medical and research equipment and others. The electromagnetic spectrum is determined by the length and the frequency of the wave. It is further divided into ionizing and non-ionizing radiation. Human cells are structured by electrically charged molecules. The membrane potentials, the ion channels, the mitochondrial and enzyme function and many other vital processes in the cell are all related to the generation of electromagnetic fields. All living organisms have the function of a magneto-receptor. The human EMF is evolutionarily linked to the natural electromagnetic background of the Earth and Space. The rise of technogenic radiation in the late 20th century has a growing impact on human physiology. We are facing health consequences from chronic exposure to the EMF. Medicine has successfully used various electromagnetic fields for treatment. On the other hand, reports of adverse side effects are requiring the study and treatment of related conditions. Intolerance to electromagnetic fields, formulated as electromagnetic hypersensitivity (EHS), is becoming increasingly common. The increasing use of different electromagnetic radiation sources is alarming and requires serious work from the scientific community to develop safeguards. The mechanisms of (EMF) that affect the body are the same as those of chronic, inflammatory, autoimmune and cancer diseases. Mobile phones and other wireless devices which produce electromagnetic fields (EMF) and radiofrequency radiation (RFR) are widely documented to potentially have harmful impacts on the human health. Harmful chemical agents from the environment as well as heavy metals work under the same mechanisms. Still on the subject of harms to humanity - the adverse effects of exposure of the human body to electromagnetic radiation is in the same league of smoking, war, chronic stress of social nature and obesity. Weak electromagnetic fields (EMFs) with high frequency of hundreds and even thousands of watts per person are dangerous because the intensity of such fields coincides with the intensity of radiation of the human body and affects the normal functioning of all systems and organs in its body. Science has not yet admitted the health risks of exposure to EMFs. There are huge gaps when it comes to the understanding of biological effects on the human body and more research needs to be done in this specific area. Epidemiological studies look for statistical correlations and links between EMF exposure and specific effects on the health.

**Keywords:** electromagnetic fields (EMF), techno genic radiation, adverse effects

## ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ЛЪЧЕНИЕ - ГОТОВИ ЛИ СМЕ ЗА ТЯХ – МИНИ РЕВИЮ

**Vassilka Ilieva**

Medical College, Medical University–Plovdiv, Bulgaria, [Vasilka.Ilieva@mu-plovdiv.bg](mailto:Vasilka.Ilieva@mu-plovdiv.bg)

**Резюме:** Земното електромагнитно поле(EMF) е фактор за функциониране на тялото, когницията и човешката психика. Електромагнитния фон на съвременната цивилизация се състои от **естествените** магнитни и електрически полета на Земята, Слънчевите и космически излъчвания. Те имат значение за организацията на живота и еволюцията. Развитието на цивилизацията в 20-ти век е свързано с използването на електромагнитни полета(EMF), с **антропогенен произход** излъчвани от електропроводи, трансформатори, телевизори и телевизионни антени, смартфоните, компютри, рутери, Wi-Fi, безжични телефони, базови станции, Bluetooth устройства, окабеляване с проводници, флуоресцентни лампи, промишлени източници, медицинска и изследователска апаратура, материали използвани за бита, които лесно се наелектризират, битова техника с микровълново излъчване. Електромагнитният спектър се определя от дължината и честотата на вълната. Разделя се още на **йонизиращо лъчение** и **нейонизиращо лъчение**. Човешките клетки са структурирани от електрически заредени молекули. Мембранните потенциали, йонните канали, митохондриалната функция, ензимната функция и много други жизнено важни

процеси в клетката са свързани с генериране на електромагнитни полета. Живите организми имат доказана магнито-рецепторна функция. Човешкото EMF е еволюционно свързано с естествения електромагнитен фон на Земята и Космоса. Увеличаването на техногенното излъчване в края на 20-ти век доведе до нарастващо въздействие върху човешката физиология. Изправени сме пред последици в следствие на хронично излагане на EMF, което интерферира с много физиологични функции и има много противоречиви ефекти върху здравето. Медицината използва успешно различни електромагнитни полета за лечение. От друга страна се регистрират неблагоприятни ефекти, налагащи изучаване и лекуване на състояния свързани с въздействието им. Все по-често се среща непоносимост към електромагнитни полета, формулирана като електромагнитна свръхчувствителност (EHS). Увеличаващата се употреба на различни устройства източници на електромагнитно лъчение буди тревога и предполага сериозна работа от страна на научната общност за изработване на мерки за защита. Механизмите, по които (EMF) въздействат върху организма са същите, като тези определящи патогенезата на хронични, възпалителни, автоимунни и ракови заболявания. Импулсните електромагнитни полета (PEMF) и радиочестотното излъчване (RFR) могат да имат пагубни ефекти от нарушаване на хомеостазата и десинхронизиране на биологични ритми, поддържащи здравето. Неблагоприятните последици от излагането на човешкия организъм на електромагнитно лъчение се нареждат до тютюнопушенето, военните действия, хроничният стрес затлъстяването.

**Ключови думи:** електромагнитни полета(EMF), техногенно излъчване, неблагоприятни ефекти

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

EMF се произвежда от електрически заредени обекти и съдържат електрически полета (EF) и магнитни полета (MF). Те са комбинация от фотон и вълна и се описват с дължина на вълната от сантиметри до хиляди метри и честота в (Hz/s). В диапазона от 300 EHz до 300THz (1 $\mu$ m) се разполага спектърът на йонизиращата радиация. В диапазона от 300THz (10 $\mu$ m) до 300 GHz(1mm) се намира видимия и инфрачервения спектър. От 300 GHz(1mm) до 30 GHz се разполага микровълновия регион, в който ще функционира 5G комуникационната мрежа. Радиочестотния спектър(RF) обхваща честотни ленти от 300 GHz до 3 MHz и включва излъчване от радио и телевизионни антени, Wi-Fi, рутери, смарт телефони, таблети, мобилни и безжични телефони, Bluetooth устройства. Означават се като изключително високочестотни (EHF EMF). От 300KHz до 30KHz са ниско честотни EMF; от 30 KHz до 3Hz се разполагат много ниско честотен диапазони (VLF); ултраниско честотни полета ULF EMF) са в диапазона 3KHz – 300Hz; изключително нискочестотни (3Hz ELF EMF) се излъчват от електрически проводници, лампи и уреди([https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum)). Мръсното електричество се свързва излъчва от флуоресцентни лампи, електрическо окабеляване, кабели от заземяващите и разпределителните линии, захранванията на много електронни устройства.

## 2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Електрическите полета(EF) не проникват в тъканите поради диелектричните им свойства. Магнитните полета(MF) могат да взаимодействат с материята като повлияват йонния ток през мембраните, чрез въздействие върху заредени молекули и химически реакции. Биологичните ефекти на EMF зависят от силата и честотата на излъчването, както и от способността на тъкани и органи да абсорбират енергия, изразена чрез специфична скорост на абсорбция (SAR). SAR (Specific Absorption Rate) дефинира количеството енергия, погълната от тъканите на човешкото тяло и се измерва във ват на килограм (W/kg). Най-често тази енергия се измерва в диапазона на радиовълните използвани за мобилни комуникации (GSM, UMTS, CDMA, W-CDMA или LTE технологии) или безжични компютърни мрежи (WLAN). Друг важен параметър е плътност на мощност (S) (W/m<sup>2</sup>) – представлява лъчистата мощност за единица площ от повърхността. RF лъчението предизвиква повишено трептене на молекулите в тъканите което води до нагряване(Belpromme et al. 2018 a). Говоренето по мобилен телефон има топлинен ефект върху тъканите на главата (Bauer et al. 2019). Съобщават се слухови ефекти от вълна на акустично налягане в мозъка. Могат да се наблюдават различни ефекти: протеинна денатурация и агрегация, метаболитни промени, увеличен кръвен ток за предизвикване на отдаване на топлина и понижаване на температурата. Прегряване може да настъпи в тъкани, лишени от кръвоснабдяване – като очната леща, което може да доведе до развитие на катаракта (Belpromme et al. 2018 b). Редица изследвания доказват, че нетермичните ефекти на микровълнови EMF и RF-MF се реализират от активиране на VGCCs (voltage-gated calcium channel) (Pall, 2015 a). Тези канали имат сензор за напрежение, което ги прави чувствителни към EMF въздействие. Плазмената мембрана има високо електрическо съпротивление, водният клъстер е силно проводим, което прави сензорът основна мишена за EMF. Активираето на VGCCs води до повишаване на вътреклетъчния Ca<sup>2+</sup>. Последва увеличен синтез на азотен оксид NO<sup>-</sup> и образуване на перокси- нитрит[ONOO (0)], който в реакция

с CO<sub>2</sub> образува свободни радикали(Pall, 2015 b). Наблюдават се ексцитотоксичност, повишена активност на NF-κB(Warille et al. 2017). Ефектите на NF-κB се определят от участието му в активиране експресията на гени, свързани с процеси на хронично възпаление, автоимунни болести, рак, атеросклероза(Pall, 2018 a). Съобщава се за прозорци с определена интензивност на микровълнови EMF, реализиращи висок биологичен отговор (Adey, 1993). Могат да бъдат нискофреkwотни полета с 50 или 60 Hz, радиочестотни (RF), MWF с много къси импулси на наносекунда и статични електрически или магнитни полета. **Ефектите на EMF върху VGCCs** (voltage-gated calcium channel) се блокират от лекарствени препарати от групата на калциевите блокери(Pall, 2018 b). Прекомерното образуване на ROS и активирането на VGCCs е в основата на развитието на множество патологични процеси предизвикани от RF EMF. Pall, (2016 a) съобщава за наличието на волтаж зависим калциев канал L тип с α-1C субединица, кодиран от гена *CACNA1C*, експресиран широко в нервната система. *CACNA1C* - ген принадлежи към група от гени, свързани с производството на калциев канал известен като CaV1.2. В сърцето и мозъка около 80 процента от CaV1.2 каналите са структурирани със сегмент, известен като екзон 8A (<https://ghr.nlm.nih.gov/gene/CACNA1C#sourcesforpage>). Високата активност на *CACNA1C* – ген, определяща висока плътност VGCCs в ЦНС, я прави силно чувствителна към EMF. Полиморфизмът на VGCCs определя развитието на депресия, шизофрения, аутизъм (Herbert & Sage 2013), биполярно разстройство, дефицит на внимание (Pall, 2016 b; Terzi et al 2016). Pall, (2016 c) обобщава 26 епидемиологични проучвания, съобщаващи за редица нервни симптоми реализирани под влияние на EMF – безсъние, уморяемост, слухови и обонятелни промени, нарушена концентрация, световъртеж, тревожност, кожни проблеми. Нетермичните ефекти свързани с активиране VGCCs, предизвикват оксидативен стрес, възпалителни промени в клетките. Други типове йонни клетъчни канали със сензор за напрежение като калиеви, натриеви, хлорни също реализират този механизъм на действие на EMF (Pall, 2018 c). Друг възможен механизъм на действие на EMF е промяна на спиновото състояние на радикалните двойки, което води до невъзможност да се образува отново нерадикална двойка(Belyaev, 2015). Sherrard et al., (2018) разглеждат зачението на човешките криптохроми Cry1/Cry2 като магнитосензор и източник на ROS, получени под влияние на синя светлина. В клетките на бозайниците криптохромите са основен елемент на циркадната осцилаторна система реализираща 24-часовия денонощен ритъм на клетката. **Свободните радикали(ROS- reactive oxygen species)** имат несдвоени електрони, което определя високата им реактивност спрямо други молекули. Към ROS се причисляват: супероксидния радикал(O<sub>2</sub><sup>-</sup>), синглетния кислород (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), хидроксилния радикал (OH·), водородния пероксид (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Най-висока токсичност притежават: супероксидния радикал(O<sub>2</sub><sup>-</sup>), синглетния кислород (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), хидроксилния радикал (OH·), водородния пероксид (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). От NO се получават други свободни радикали(RNOS)(Ozcan & Ogun 2015). Физиологични мишени на ROS са аминокиселините и протеините.Установява се липидна пероксидация на полиненаситените мастни киселини в състава на мембраните, окислителното увреждане на ДНК (Eckl & Bresgen 2017). Антиоксидантната защита на клетката е представена от няколко групи фактори първа група - антиоксиданти, които не допускат образуването на ROS – глутатион, трансферин, феритин, хемосидерин, лактоферин, церулоплазмин, албумин. Втора група, която обезврежда вече образувани ROS – тук спадат ензимни и неензимни фактори: ензими – супероксиддисмутаза, каталаза, цитохром-С-пероксидазата, глутатион-пероксидазата и -редуктазата, тиоредоксин -пероксидазата и -редуктазата, метионин-редуктазата. Неензимни фактори – това са редица липо- и водо- разтворими витамини: витамин Е (α-токоферола, γ-токоферола), каротеноидите (β-каротен), коензим-Q, витамин С, тиоловите съединения, пикочната киселина, мелатонин, флавоноидит(Gebicki, 2016). За увреждащите ефекти на ROS са от значение интензитета на MF, честотата, времето на експозиция, физиологичните особености на облъчените тъкани (Wang & Zhang 2017). В своя преглед Kivrak et al. (2017) представят множество изследвания доказващи ролята на увеличените нива на ROS и намалената активност на вътрешната антиоксидантна система на клетката. Основни източници на натоварващо електромагнитно лъчение в нашето ежедневие са компютри, смартфони, таблетки, микровълнови фурни, радиочестотното излъчване. **Канцерогенен ефект:** В своето проучване Hardell & Carlberg (2019) съобщават за статистически значимо повишен риск от развитие на мозъчен глиом и вестибуларен шванном. Повишен риск от глиом се потвърждава и в други проучвания(Momoli et al., 2017). При използването на мобилни телефони ипсилатерално рискът от развитие на мозъчен глиом се увеличава допълнително. Щитовидната жлеза е сред органите с най-висока експозиция на радиочестотна радиация по време на използването на безжични телефон и смартфони. Увеличаване случаите на рак на щитовидната жлеза при хора се представя в проучвания на Carlberg et al. (2016). През 2011 г. Международната агенция за изследвания на рака (IARC) на Световната здравна организация, класифицира RFR (100 MHz-300 GHz) като група 2B, *възможен* канцероген за човека. Hardell & Carlberg (2017) заключават, че епидемиологичните проучвания налагат RFR да бъде категоризирана като група 1, *известен* канцероген за човека. През 2019 г.

консултативната група на IARC препоръча преценка на класификацията за 2011 година с оглед на всички доказателства за канцерогенния ефект за човека ([https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/QA\\_ENG.pdf](https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/QA_ENG.pdf)). **Нервна система:** При експозиция на мишки на 835 MHz RF-EMF с 4,0 W/kg SAR в продължение на 12 седмици се наблюдава автофагия в хипокампуса. Наблюдава се повишено образуване на автофагозоми и лизозоми, свързано с повишена генна експресия на автофагични регулаторни протеини LC3B-II (Kim et al., 2018a). Под влияние на RF-EMF се наблюдават промени в миелогенезата, с което се свързва развитието на електромагнитна свръхчувствителност (Kim et al., 2018b). В своето проучване проведено върху плъхове Wistar Albino изложени на микровълново лъчение, Xiong et al. (2015) съобщават за увеличаване нивата на глутамат с активиране на NMDAR. Наблюдаваните промени могат да бъдат в основата на нарушена синаптична пластичност и невротоксичност. Експозицията на EMF води до увеличено образуване на 3-нитропропионова киселина (3NP), която е невротоксин (Terzi et al., 2016). Привеждат се литературни и експериментални данни за увреждането на НС от EMF с механизми свързани с оксидативният стрес; митохондриална дисфункция; висок протеинов синтез; повишена пропускливост на мозъчните съдове; повишено образуване на амилоид- $\beta$ , който е фактор в патофизиологията на невродегенеративните заболявания, включително болестта на Паркинсон и Алцхаймер, хронична умора, амиотрофична латерална склероза (Belpromme et al., 2018 b). Pall, (2016 d) представя данни за увеличени случаи на депресия, дефицит на внимание, нарушения на паметта, увеличаване случаите на шизофрения и биполарно разстройство, когнитивни и поведенчески проблеми. Нарушено мозъчно развитие и когнитивни функции, както и пристрастяващо поведение при деца и юноши се наблюдават при излагане на RF (Sage & Burgio 2018). Животни подложени на микровълнова радиация (MWR) в продължение на 180 дни при честоти 900, 1800 MHz и 2450 MHz показват намалена когнитивна функция, нарушена пространствената и работна памет, повишено ниво на HSP70 и увреждане на ДНК в мозъка. Повишаването на нивото на HSP70 в хипокампуса се приема за причина за наблюдаваните ефекти (Deshmukh et al., 2015). Проучване на последиците от използване от бременни жени на източници на RF-EMF - мобилни телефони и мобилни базови станции, Wi-Fi, безжични телефони, лаптопи и електропроводи показва статистически значими връзки между използването на безжични телефонни и проблеми с говора на потомството. Не е установена връзка между използването на мобилни телефони и говорните проблеми при потомството (Zarei et al., 2019). **Репродукция:** редица проучвания установяват вредното влияние на радио и телевизионно излъчване, мобилни телефони, Bluetooth, Wi-Fi върху човешката репродуктивна система. Хората пребивават най-много в обхвата на посочените устройства. В опитни постановки с плъхове се установява нарушена сперматогенеза и намалена подвижност на сперматозоидите, както намален обем на тестисите. Повлиява се негативно фоликулогенезата с нарушена диференциация, аномални фоликули, намален резерв на яйчника (Santini et al., 2018; Adebayo et al., 2019 a). EMF влияе върху пролиферацията; диференциацията и апоптотичните процеси на клетката; променя функциите на клетъчната мембрана; нарушават генната експресия. Цитират се изследвания с 900MHz RF/MW приложени върху плъхове, както и експерименти върху клетъчни култури (HeLa) с прилагане на 875 MHz EMF, показващи увреждане на мъжката репродуктивна система (Adebayo et al. 2019 b). Jaffar et al. (2019) представят 15 проучвания върху плъхове, три проучвания върху мишки и пет изследвания за влиянието на лъчението върху човешкото здраве при излагане на RF-EMR и Wi-Fi предавател. Установени са намален брой и подвижност на сперматозоиди, тестисите показват дегенеративни промени, намалено ниво на тестостерон, повишено количество апоптотични клетки и увреждане на ДНК. Под влияние на SRF-EMR се увеличава експресията на MMP14 (металопротеиназа 14) – Sprock3 комплекс, и намаляване активността на MMP2 (металопротеиназа 2) (Yu G et al., 2020 a). MMP2 е свързана със засилване на циркулацията в тестисите, улеснява миграцията на сперматозоидите. Така дългосрочното излагане на SRF-EMR води до намаляване на мъжкия фертилитет (Yu G et al., 2020 b). Наблюдения върху хора с дългосрочна експозиция на мобилен телефон с честоти 900/1800 MHz EMF показват фрагментация и разрушаване на клетъчната ДНК (Yahyazadeh et al., 2018). Наблюдавана е генотоксичност и канцерогенност за радиочестотния диапазон от 10 MHz (MHz;  $10^6$  Hz) – 300 GHz (GHz;  $10^9$  Hz) (Kocaman A et al. 2018). **Под влияние на (RF-EMR) настъпват промени в молекулата на ДНК** под формата на 8-OHdG (Wang X et al., 2015 a). 8-OHdG (8-Охо-2'-деохугуанозин) е продукт от окисляването на ДНК. Концентрациите на 8-оксо-dG в клетката е маркер за оксидативния стрес. Играе роля в епигенетичната деметилация на ДНК, свързан е с мутации и канцерогенни ефекти. Участва в процесите на запаметяване и стареенето (Wang et al., 2015 b). В експеримент с плъхове облъчени с (RF-EMR) с честота 1800 MHz се установяват множество промени в различни биомаркерите: намалени стойности на натрий, калий, хлориди, алкална фосфатаза, трансаминаза SGPT; установява се увеличаване на левкоцитите; дегенеративни промени в черния дроб; в бъбреците дегенерация на гломерулите; нарушена структура на сърдечните мускулни влакна; намален брой и подвижност на сперматозоидите (Adebayo et al.,

2019 c). Mortazavi et al. (2016) изследват промените настъпващи при излагане на радиочестотно лъчение (GSM 900 MHz) на възрастни плъхове Sprague Dawley (200-250 g). Облъчена е главата на животните на 5 cm при скорост на абсорбция (SAR) на RF 2,0 W/kg, продължителност на експозицията от 3 до 6 часа на ден за 7 дни. Хистопатологично се установява увреждане на клетките на Лангерхансовите острови, възпалителни промени в черния дроб. В експерименти с 2,45 GHz RF радиация върху плъхове Kamali et al. (2018) установяват понижаване на CAT, GSH-Px и SOD. Masoumi et al. (2018) наблюдава хипергликемия, намалена секреция на инсулин, намаляване на нивото на GSH, SOD и GPx на панкреаса в облъчени животни.

**Епигенетични промени:** Излагане на 50 Hz ELF-EMF лъчение за 72 h повлиява експресията на miRNAs в изследвана GC-2 клетъчна линия на миши сперматоцити (Liu Y et al., 2015 a).. Наблюдавано е повлияване на сигнални пътища - на mTOR, сигналния път MAPK, взаимодействията на цитокин-citoкин и рецептора на p53. Авторите приемат, че miRNA може да бъде биомаркер на сигнални пътища повлиявани от ELF-EMF (Liu Y et al., 2015b). Експозицията на ELF-EMF индуцира промените в метилирането в целия геном и експресията на DNMT (ДНК-метилтрансфераза) в клетките, получени от сперматоцити GC-2 (Yong Liu et al., 2015 ). Излагането на RF от GSM мобилни телефони, може да доведе до епигенетични промени в модела на метилиране на E $\alpha$  (Estrogen Receptor  $\alpha$ ) промотора (Mokarram et al., 2017). Излагане на ELF, UMTS (мобилна клетъчна система трето поколение) и WiFi радиация води до модификация на хроматина, промяна на генната експресия за хистон-кодиращи гени (Adebayo et al., 2019 d). Предизвиканите от EMF епигенетични промени благоприятстват развитието на патологии като нервнoдегенеративни заболявания и аутизъм (Pall, 2018 d). Експозиция на GSM 900-MHz RF-EMF намалява пролиферацията на стволовите клетки (Eghlidospour et al., 2017 ). Култура от *Klebsiella pneumoniae* облъчена от Wi-Fi рутер, показва **намалена чувствителност към всички тествани антибиотици** след 8 h експозиция (Taheri et al., 2015 ). Излагането на Wi-Fi 2.4 GHz повишава антибиотичната резистентност на *Escherichia coli* 0157H7, засилва образуването на биофилм от *Escherichia coli* 0157H7, *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis* (I H SS et al., 2019). Jooyan et al. (2019), съобщават за **ефект на наблюдателя BE (Bystander Effect)**, характерен за йонизиращите лъчения. Клетките подложени на лъчение 900 MHz GSM RFR при степен на абсорбция (SAR) от 2 W/kg за 4, 12 и 24 часа, индуцират промени в клетки, които не са облъчени. Сигнални молекули преносители на информация за BE (Bystander Effect) според авторите могат да бъдат реактивни видове кислород (ROS), NO $^{\cdot}$ , Ca $^{2+}$ , цитокини. Този механизъм показва, че RF-EMF се намесват във фундаментални нива на функциониране на клетките. BE- ефектът е свързан с хорметичния отговор на клетките. Sun et al. (2016) експериментират 1800 MHz RF-EMF експозиция върху геномна ДНК в миши ембрионални фибробласти (MEFs). Изследва се фрагментация на ДНК при скорост на абсорбция (SAR) от 4,0 W/kg. След експозиция след 1 час се наблюдава значителна фрагментация на ДНК. След експозиция до 36 часа нивата на фрагментация на ДНК са били дори по-ниски от фоновото ниво. Авторите обсъждат възможен хорметичен ефект от облъчването на клетките. Sannino et al. (2014) експериментално доказват, че предварителното излагане на нейонизиращо RF-лъчение предизвиква адаптивни промени в лимфоцити от човешка кръв, водещи до устойчивост към влиянието на генотоксични агенти. **Обсъжда се хорметичния ефект като възможен механизъм на адаптация.** Ниски дози стресори водят до регистриране на две форми на отговор – J-образна и U-образна (или инвертирана U-образна) крива (Calabrese & Mattson 2017 a). Хормезис е отговор на живата система към променящата се вътрешна и външна среда и представлява еволюционно установен начин за запазване на стабилна вътрешна среда. Хорметичният отговор най-често се опосредствува от системата на ROS. Според **“PERM hypothesis”** (Chirumbolo & Bjørklund 2017 a). - (P)протеазомата, (ER)ендоплазматичния ретикулум и (M)митохондрия са хаотични осцилатори, които се синхронизират в условията ROS-зависим стрес, увеличена осцилация на митохондриите във връзка с ROS, промени в калциевата система. Това създава единната система протером, която ще даде вектор към аутофагия и възстановяване на нарушените в клетката или апоптоза (Chirumbolo & Bjørklund 2017 b). В хипотезата PERM решаваща роля за задвижване на хаотичния осцилатор протеазома-ендоплазматичен ретикулум-митохондрии имат ROS. ROS задвижват вътрешна и външна антиоксидантна система, Решаващо значение за клетъчното оцеляване има нивото на Ca $^{2+}$  в митохондриите, което е свързано с нивата на ROS. Хорметичният ефект и клетъчното оцеляване, насочването на процесите към аутофагия и цитопротекция, са свързани с ниски Ca $^{2+}$  нива (Davies, 2016). Има праг на калциево натоваване, след който клетката преминава към апоптоза. Тезата обяснява много от негативните ефекти на RF-EMF. Еволюционната биология предлага интересен поглед, който дава възможност за ново разбиране за ролята на EMF в живота, еволюцията и морфогенезата (Miller et al., 2020). В живата система съществува материално-молекулярна страна на функциониране и информационна матрица от друга. Клетките генерират самоорганизиращи се полета EMF. Те представляват матрица на информационно пространство-време (N-пространствен Епизеном). Тази информационна матрица-Епизеном-осъществява връзка между генома и информационното

поле. EMF на Еписенома се създават от електрическите и магнитни компоненти на протичащите в клетките процеси. Разглеждат се електрически процеси от йонни канали, йонни потоци, процеси свързани с конформационни промени, кохерентното лъчение на молекулите на ДНК, клетъчната мембрана, потоци от биофотони, солитони. Това поле е важно средство за биокомуникация (Melkikh & Meijer 2018 a). Измененията в информационния еписеном може също да бъде източник на изменения в морфогенезата. Това предполага много сериозно и отговорно отношение към използването на различни източници на лъчение, както и основание за сериозна работа на научната общност за установяване на опасните граници при използване на тези техногенни източници на EMF лъчение. Така потапянето ни в нарастващия поток от генерирани техногенни EMF представлява заплаха за адаптацията и здравословното функциониране на организма (Melkikh & Meijer 2018 b). Животът се развива в естествения електромагнитен фон на Земята и Космоса с неговите цикли (Sage, 2015). В тази среда живата клетка има механизми, с които реагира на стресори, хармонизира чрез тях своята хомеостаза и заедно с това се обучава за обработването на бъдеща стресова стимулация. Хорметичният механизъм е един еволюционно изработен метод за справяне със стресовата среда (Calabrese, 2017 b). За живите системи техногенните EMF са стресори (Panagoropoulos D.J., O. Johansson & G.L. Carlo 2015). Техногенните EMF имат различен профил от естествения електромагнитен фон. Техногенните са: поляризирани и кохерентни, променливи, носещи голямо количество информация (Panagoropoulos DJ. 2019 a). Комбинацията от посочените параметри на техногенните EMF (Panagoropoulos, 2019 b) определя високата биологична активност. Според (Panagoropoulos, 2019 c) това налага изследователската работа да се провежда с въздействието на реалните техногенни EMF, на които сме изложени. Това ще даде възможност да се получат реални резултати. Авторът убедително доказва необходимостта за преразглеждане на всички нормативи свързани с излагането на техногенно електромагнитно лъчение, особено предстоящото включване на 5G лъчение. 5G мобилната мрежа ще предава информация с голяма плътност, разнообразие на интензитет и променливост. Възможността за адаптация в тези условия е силно нарушена. Кумулацията на неблагоприятните ефекти на EMF, епигенетични, генотоксични ефекти предизвикват загриженост в обществото и научните среди.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Международната агенция за изследвания на рака (International Agency for Research on Cancer), класифицира изключително нискочестотното магнитно поле като възможно канцерогенно за човека (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. International Agency for Research on Cancer; 2013. Lyon (FR): ISBN-13: 978-9283213253 ISBN-13: 978-9283201403). През 2019 г. консултативната група на IARC препоръчва преоценка на класификацията за 2011 година с оглед на всички доказателства за канцерогенния ефект за човека ([https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/QA\\_ENG.pdf](https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/QA_ENG.pdf)). Американската Национална програма за токсикология карциногенезисни изследвания на радиочестотното излъчване публикува резултати, показващи повишен риск от рак при плъхове (NTP 2018 <https://ntp.niehs.nih.gov/publications/monographs/index.html?type=RoC>). Съветът на Парламентарната асамблея на Европа в своята резолюция препоръчва да се преразгледа научната основа за настоящите стандарти за излагане на електромагнитни полета, въз основа на принципите „възможно най-ниско от разумно постижими“ (ALARA) (<https://www.lemeproax.com/alara-la-regle-dor-de-la-radioprotection>).

### БИБЛИОГРАФИЯ

- Adebayo, E. A., Adeeyo A. O., Ogundiran, M. A., & Olabisi O. (2019). Bio physical effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR) on blood parameters, spermatozoa, liver, kidney and heart of albino rats *Journal of King Saud University - Science* Volume 31, Issue 4, Pages 813-821
- Adey, W.R. (1993) Biological effects of electromagnetic fields.(1993). *J Cell Biochem.* 1993 Apr;51(4):410-6 Review
- Bauer, J., O'Mahony, C., Drahomir C., Mulcahy, J., Syed A., Tofail, M. (2019). Thermal effects of mobile phones on human auricle region *Journal of Thermal Biology*, Volume 79, Pages 56-68
- Belpomme, D., Hardell, L., Belyaev, I., Burgio, E., Carpenter, D.O. (2018). Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut. Nov*; 242(Pt A):643-658. doi:10.1016/j.envpol.2018.07.019. Epub 2018 Jul 6.
- Belyaev, I. (2015). Biophysical mechanisms for nonthermal microwave effect M.S. Markov (Ed.), *Electromagnetic Fields in Biology and Medicine*, CRC Press, New York pp. 49-67

- Carlberg, M., Hedendahl, L., Ahonen, M., Koppel, T., Hardell, L. (2016). Increasing incidence of thyroid cancer in The Nordic countries with main focus on Swedish data. *BMC Cancer*; 16:426.
- Calabrese, E.J., & Mattson, M.P. (2017). How does hormesis impact biology, toxicology, and medicine? *NPJ Aging and Mechanisms of Disease*. 3
- Chirumbolo, S., & Bjørklund, G. (2017). PERM Hypothesis: The Fundamental Machinery Able to Elucidate the Role of Xenobiotics and Hormesis in Cell Survival and Homeostasis *Int J Mol Sci*. 18(1): 165.
- Deshmukh, P.S., Nasare, N., Megha, K., Banerjee, B.D., Ahmed, R.S., Singh, D., Abegaonkar, M.P., Tripathi, A.K., Mediratta, P.K., Int, J. (2015). Cognitive impairment and neurogenotoxic effects in rats exposed to low-intensity microwave radiation. *Toxicol*. 34(3):284-90.
- Davies, K.J. (2016). Adaptive homeostasis *Molecular Aspects of Medicine*, Volume 49, Pages 1-7
- Eckl, P.M., & Bresgen, N. (2017).. Genotoxicity of lipid oxidation compounds. *Free Radic Biol Med*. 201 Oct;111:244-252. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.02.002.