

Медицински аспект коришћења мобилне телефоније

Пук. доц. dr sc. med М^ррослав Хрњак

Војномедицинска академија, ЗИМ – Институт за медицину рада, Београд

К л ј у ч н е р е ч и : телекомуникације; телефон; radio-talasi; zračenje, nejonizujuće; oprema, sigurnost.

Key words : telecommunication; telephone; radio-waves; radiation, nonionizing; equipment safety.

Мобилни телефони или ручни бежични телефони постају, поред радија и телевизије, сигурно најмасовније средство радио-комуникација, али у исто време и најзначајнији извори изложености радио-фреквенцијском (РФ) зрачењу становништва. Из ових разлога се поставља и веома важно питање здравствених аспеката те изложености и могућих последица по појединце који их користе и општу популацију. Овај проблем треба разматрати у два правца - изложеност РФ зрачењу од самог мобилног телефона и зрачењу од мреже базних станица.

Крајем 1994. године у свету је било око 50 милиона пејџера и 52 милиона мобилних телефона. Потом је тренд развоја мобилне телефоније, као средства за двосмерну комуникацију, почео нагло да расте - са стопом од око 58% годишње, а пораст броја пејџера да стагнира. У 1996. години у свету је било око 85 милиона претплатника мобилних телефона, а у 1998. години тај број достиже око 190 милиона. Финска је у тој години у августу имала 2,57 милиона претплатника и тако постала прва земља у свету где преко половина становништва (50,1%) има мобилни телефон. Претпоставља се да ће 2000. године бити око 100 милиона мобилних телефона у Европи, а да ће 2002. године у свету број мобилних телефона достићи цифру од 700 милиона. У Југославији је почетком 1998. године број претплатника у GSM мрежи (дигитални телефони) износио око 60 хиљада, а у NMT мрежи (аналогни) око 10 хиљада. Сада се број дигиталних телефона код нас свакодневно повећава, док је развој NMT мреже заустављен.

У исто време долази и до наглог развоја сателитске мобилне телефоније у свету, која представља бу-

дуност у бежичној телефонији. Постојећи старији систем сателитске бежичне телефоније има око 100 хиљада корисника и покрива око 95% Земљине површине, односно 130 земаља у свету. Одвија се преко геостационарних сателита Inmarsat на висини од 32 500 km изнад Земљине лопте, који круже истом брзином као што се она окреће, те практично стоје у месту изнад једне тачке на површини Земље. Овај систем, мада веома погодан јер не треба развијати мрежу базних станица пошто се комуницира директно између телефона и сателита, има и своје озбиљне недостатке. Сам сателитски мобилни телефон је гломазан, има тежину између 1,5 и 2 kg и њиме углавном није могуће разговарати из просторија које се налазе испод нивоа земље или из подрума. Због великог пута који треба да прође РФ сигнал од телефона до сателита (иако се креће 300 хиљада km/s) успостава везе и говор касне за око 1/4 дела секунде. Поред већ постојећег Global star система сателита на ниским орбитама (на висини од 1 400 km), који има 48 сателита и 8 резервних, у развоју је и систем Iridium (сателити на висини од 690 km), где се сателити крећу један за другим тако да могу да покривају наилазећи сва подручја и обезбеђују квалитетну комуникацију. У развоју су, такође, нови сателитски телефони тежки само неколико стотина грама (300 g) који су много мањих димензија од постојећих сателитских мобилних телефона.

Карактеристике мобилне телефоније

Мобилна целуларна телефонија обезбеђује двосмерну радио-комуникацију, сличну оној која постоји код радио-телефона у полицијским колима, војсци,

код ватрогасаца или у колима хитне помоћи, али са мањом снагом. Уобичајено бежични телефони деле се на четири групе: транспортабилне, портабилне, безгајтанске и мобилне. Сви наведени, осим кућног телефона без гајтана, спадају у групу целуларних телефона.

Транспортабилни или телефони у колима имају антену постављену на крову кола, крилу, стаклу или на бранику и због физички раздвојене антене од корисника и заштитне улоге металне конструкције кола они нису много значајни са аспекта могућности изложености РФ зрачењу. Портабилни или телефони у торби се састоје од уређаја и антене који се носе у торби. Код овог телефона у току разговора антена уређаја може да буде у близини главе, те могућност значајане изложености зрачењу постоји. Телефон без гајтана ("cordless") или, како је код нас уобичајеније, бежични кућни телефон има слушалицу и малу базну станицу на фиксном телефонском кућишту. Ови телефони раде на нешто мањим фреквенцијама него мобилни телефони (углавном на 49 MHz) и не представљају значајан извор РФ зрачења јер су веома мале снаге (1/600 де-ла снаге уобичајеног мобилног телефона) (1). Код мобилног телефона, који је истовремено пријемник и предајник и има у себи интегрисану слушалицу и микрофон у уређају, антена се у току одржавања везе налази у непосредној близини главе, а изложеност РФ зрачењу зависи од нивоа снаге сигнала од антене.

У свету се сада користе старији конвенционални или аналогни целуларни мобилни телефони и дигитални целуларни мобилни телефони. Поред овога, на ограниченом простору као што су хале, спортски и трговачки центри, веће робне куће и слично у употреби је и бежична мрежа у локалној зони, која ради на нешто вишим фреквенцијама од мобилне телефоније (2,45–5,80 GHz) (1–3).

Код других бежичних комуникационих средстава, као што је двосмерни радио-телефон у колима (полиција, такси) антена се налази на крову, на каросерији или на бранику, а користе се ниже фреквенције него код мобилне телефоније. Већина ових радио-телефона има

Табела 1

Конвенционални (аналогни) мобилни целуларни системи

Ред. бр.	Систем	Фреквенција MHz	Снага W	Земља
		450		
1.	NMT	890-915	0,1-1	Скандинавија, Југославија
		935-960		
2.	JTACS	898-925	0,006-0,6	Јапан
		843-870		
3.	AMPS	824-849	0,006-0,6	Северна Америка,
		869-894		Јужна Америка
4.	NAMPS	824-849	0,006-0,6	Северна Америка, Израел,
		869-894		Јужна Америка
5.	ETACS	827-905	0,006-0,6	Уједињено Краљевство, Азија
		917-950		

Табела 2

Дигитални мобилни целуларни системи

Ред. бр.	Систем	Опсег фреквенција MHz	Ниво снаге	Земља	Пак/s
1.	GSM*	890-915	0,02-2 W	Европа, Азија, Аустралија	217
		935-960			
2.	DCS*	1710-1785	0,01-1 W	Европа, Азија, Аустралија	217
		1805-1880			
3.	NADC*	824-849	0,006-0,6 W	Северна Америка и Хонг-Конг	50
		869-894			
4.	CDMA*	824-849	0,01 μ W - 1 W	Северна Америка и Азија	-
		869-894			
5.	PDC	810-830	0,06-0,6 W	Јапан	-
		940-960			
6.	PHP*	1895-1918	0,01 W	Јапан	-
7.	ESMR	806-821	0,01-1 W	САД и Јапан	-
8.	CT 2	864-868	< 0,01	Азија и Европа	-
9.	IRIDIUM	1 616-1 626,5	-	Глобални	11

* (у увођењу: 1 850-1 990 MHz)

предајник снаге до 100 W који комуницира са својом базном станицом. Изложеност корисника у колима зависи од врсте антене и снаге телефона. Према неким мерењима на удаљеностима од 30-50 cm од антене изложеност зрачењу може да прелази допуштени ниво (1).

Код мобилне телефоније разговор се преноси радио-фреквенцијским зрачењем до базне станице у систему ћелија (целуле), те отуд потиче назив ћелијска, односно целуларна телефонија. Једна ћелија представља једну географску зону у којој се одвија телефонски саобраћај, тако што се у центру ћелије налази базна станица која покрива то подручје. Степен покривености неког подручја ћелијама зависи од потребе телефонског саобраћаја. Тежи се да се цело географско подручје неке државе покрије мрежом ћелија тако да се омогући добар пријем на било ком месту. Величина ћелија зависи од конфигурације земљишта и постојања препрека које ометају слободно ширење РФ сигнала. Даљина на којој се преноси сигнал у једној ћелији креће се од неколико метара до неколико километара. У руралним пределима ћелије захватају већу површину (преко 1 km), док су у градовима мање површине, јер постоји већи број препрека које ометају ширење сигнала, а етар је веома оптерећен. Телефонски разговор у целуларној мрежи се одвија између мобилног телефона и базне станице. Свака базна станица има више фреквенцијских канала који се користе по потреби. Базна станица даље преноси говорни сигнал кроз преносни центар, где се разговор предаје другом целуларном подручју или преко класичног телефонског система до фиксног телефона. Телефонски разговор у једној ћелији одмах се сврстава у слободан РФ канал, и то онај који омогућава добру комуникацију са најмање снаге.

Базна станица има један или више предајника и пријемника који су повезани са једном или више антена. Антене се у градовима постављају на кровове зграда на антенске стубове или фасаде зграда, док се у руралним пределима налазе на високим торњевима. У једној базној станици обично има до 12 фреквенцијских канала, а излазна снага по каналу износи око 10 W. У току рада више канала истовремено укупна излазна снага базне станице достиже уобичајено до 100 W. Наравно, има и станица много веће снаге (500-1 000 W). Оптимална употреба канала зависи и од интерференције од суседних канала (3).

Сигнал или говорна информација преноси се од мобилног телефона до базне станице и обратно преко носећег РФ сигнала који се на одговарајући начин модулише. Радио-фреквенцијско зрачење је оно електромагнетско зрачење које се користи у телекомуникацијама (1). Ово се односи на фреквенције од 100 kHz до 300 GHz или таласне дужине од 1 mm до 1 km. У оквиру овог подручја налази се област микроталаса (MT) које обухвата фреквенције од 300 MHz до 300 GHz или таласне дужине од 1 mm до 1 m. За потребе мобилне

телефоније користе се фреквенције у распону 450-2.200 MHz. На табелама 1 и 2 дате су неке карактеристике и фреквенције за системе мобилне телефоније који се највише користе у свету (3). Види се да се код аналогне мобилне телефоније углавном користе фреквенције од око 900 MHz (таласне дужине зрачења од 30 cm), а да се за потребе дигиталне телефоније већином користе фреквенције РФ зрачења до око 1 800 MHz (таласних дужина до 15 cm).

Излазна снага мобилних телефона се креће од 0,006 W до 2 W, најчешће са вршном снагом од 0,6 W (3, 4).

Као што се види, за потребе мобилне телефоније користи се РФ зрачење високих фреквенција односно микроталасно зрачење. Носеће фреквенције, да би преносиле говор, морају да се модулишу према говорној информацији. Модулација носећег сигнала може бити амплитудна, фреквенцијска или импулсна. Код амплитудне модулације (AM) обавља се временска промена у јачини носећег сигнала, тј. промена јачине сигнала одређене константне фреквенције. Фреквенцијска модулација (ФМ) се добија када се обавља временска промена фреквенције носећег сигнала при чему се јачина сигнала не мења. Ово је карактеристично за аналогну мобилну телефонију. Код дигиталне телефоније обавља се импулсна модулација - носећи сигнал пресеца се у виду кратких импулса. Овде се говор преноси преко специјалног типа модулације - импулсне амплитудне модулације - носећи сигнал модулише се у виду импулса, али су они одређеног трајања, односно у облику пакета (у који се уграђује говорна информација), тако што су сами импулси амплитудно или фреквенцијски модулисани. Оваквих пакета код GSM система има 2-217 у секунди, а сваки траје 0,6 ms, док код NADC система фреквенција пакета износи 50 у једној секунди (трајање пакета 6,7 милисекунди). NADS телефонија има 22 пакета/s (3-7). Нови Iridium систем сателитске телефоније има 11 пакета у секунди. Цела говорна информација преноси се преко ових пакета тако што се са прекидима смешта у пакете (3-5). Међутим, пошто је цео процес електронски контролисан, говор на крају није испресецан, него се чује у виду непрекидног и јасног говорног сигнала. Пошто између пакета на једном каналу остаје "празан" простор, то се у њега могу да сместе и други пакети који носе неки други разговор. На тај начин се може преко једног фреквенцијског канала да преноси у исто време више независних разговора.

Наведена импулсна модулација даје РФ носећем зрачењу још једну димензију веома значајну са аспекта биолошког дејства. Овакво РФ зрачење је сада модулисано тако што садржи у себи 2-217 импулса у секунди, односно оно је сада веома слично електромагнетском зрачењу екстремно ниских фреквенција (Extremely Low Frequency - ELF) којим се означава оно фреквенција 0-300 Hz, тако да се сада оно карактерише као

ELF модулисано РФ зрачење. У току истраживања биолошког дејства дошло се до закључка да овако модулисано РФ зрачење има доста сличности са електромагнетским пољима, односно зрачењем ELF опсега, чије се биолошко дејство битно разликује од биолошког дејства РФ зрачења (3-7).

РФ зрачење од базних станица

Базна станица чини основу једне ћелије мобилне телефоније. Нема довољно података о броју базних станица и њиховој густини у појединим државама. Само у САД сада има око 52 хиљаде станица, а да би се покрила цела ова држава треба да их буде око 90 хиљада.

Антене базне станице се налазе на антенским стубовима висине 15-50 m или на зградама и усмерене су (имају антенско појачање 10 или више пута) према хоризонту, а расипање зрачење према доле и бочно је релативно мало. Интензитет зрачења иза антене (супротно главном снопу зрачења) обично је 100 - 1 000 мањи него у главном снопу зрачења. Ширина главног снопа зрачења вертикално обично је веома мала ($7-10^\circ$), а по хоризонталу је много већа ($60-120^\circ$) и у одређеној мери личи на сноп рефлектора (1). Интензитет зрачења од антене опада са квадратом растојања у далеком пољу зрачења (углавном када је растојање од антене веће од таласне дужине зрачења или када је раздаљина већа од $2 D^2/\lambda$, где је D највећа димензија антене, а λ таласна дужина зрачења) (1). Када се растојање од антене у главном снопу зрачења повећа за два пута, интензитет РФ зрачења опада за четири пута. Ово се не односи на непосредну близину антене, јер тада електрично (Е) и магнетско (М) поље нису у истој фази. Пошто се сноп зрачења шири са удаљавањем од антене, то он може да пада на земљу на даљини од 50 до 300 m од подножја антене на једној високој згради, али је тада зрачење веома ослабљено због велике даљине од антене. Резултати појединих мерења говоре да у правцу главног снопа интензитет зрачења прелази допуштени ниво на удаљености до око 1 m од антене код GSM система - 900 MHz (прелази допуштени ниво густине снаге зрачења од $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, односно јачину Е поља од 41 V/m, према Шведском стандарду SS-ENV 50166-2 - који је донет на основу предстандарда Европске уније) (8). Већ на 10 m удаљености интензитет зрачења је мали. На тлу непосредно испод антене већином се може измерити само око 1/10 од допуштеног излагања за општу популацију. Углавном, у подручју око базне станице, на месту где се креће становништво, густина снаге РФ зрачења не достиже допуштену границу излагања за становништво и према резултатима неких мерења креће се од 1/1 000 до 1/40 дела од допуштене вредности (3). Код базне станице GSM система од 100 W (900 MHz) на удаљености од 0,7 m од антене у главном снопу измерен је интензитет зрачења од $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$, а на 70 m $0,3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (9). Испод базне станице

GSM система (860 MHz, пропсењене укупне снаге зрачења од 500 W) измерена је на удаљености од 30 m од подножја антенског стуба вредност од $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (3).

Према нашем стандарду за РФ зрачење горња допуштена вредност интензитета којој може бити изложена општа популација за фреквенције које се користе у мобилној телефонији износи $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (10).

Зидови зграде типичне конструкције (цементни блокови, цигла, дрво) имају фактор атенуације (слабљења) од око 10. Тако интензитет РФ зрачења у собама у згради у близини базне станице има углавном 10-100 пута мању вредност него напољу. Ово се односи и на просторију директно испод антенског стуба базне станице постављене на крову зграде. Наводи се да је измерена вредност јачине Е поља од 1 до 2 V/m (односно $0,27-1,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) у соби испод антене базне станице. Међутим, настало поље може у одређеној мери да утиче на осетљиву електронску опрему у кући, као што је на пример компјутер.

Зрачење од мобилног телефона

Мобилни телефон је пријемно-предајни уређај малих димензија (неки су тешки свега 135 грама и дебљине само 1,9 cm), али је веома значајан извор РФ зрачења јер се у току коришћења налази у непосредној близини главе (већином на 2-7 cm удаљености). Ови уређаји имају малу штап-антену која у току емитовања ствара јако локализовано електромагнетско поље. Глава корисника се налази у блиском пољу зрачења, а један део емисије зрачења апсорбује се у ткиву главе - у кожи, поткожном ткиву, костима, очима и možданом ткиву у близини ува. У блиском пољу Е и М поље нису у фази и анизотропна су, тако да је веома тешко одредити степен апсорпције РФ зрачења у глави. Мерење поља у блиском пољу зрачења између антене и површине главе је веома компликовано јер се у исто време сондом којом се мери врши поремећај поља, а резултати мерења се не могу упоређивати са постојећим стандардима за излагање РФ зрачењу. Један од начина процене апсорпције РФ зрачењу у глави је одређивање специфичне апсорпционе стопе зрачења (1, 3).

Специфична стопа апсорпције енергије зрачења (SAR - Specific Absorption Rate) је стопа са којом се енергија РФ зрачења апсорбује у ткиву, а изражава се у ватима на килограм (W/kg). SAR се користи за потребе дефинисања биолошког дејства РФ зрачења и екстраполацију резултата са животиња на човека (11). За појаву неког биолошког ефекта најбитнији је колико се енергије РФ зрачења апсорбовало у ткиву, а потом да ли је дошло до загревања ткива (термичког ефекта) или није (атермички ефекат). Иначе SAR у ткиву је пропорционална квадрату јачине насталог унутрашњег електричног поља у ткиву. Просечна SAR и њена дистрибуција, која је веома неуниформна због различитих својстава ткива, процењује се комплексним

израчунавањем или лабораторијским мерењима (11). Досадашње експериментне студије показале су да експозиција РФ зрачењу фреквенције од 100 kHz до 300 GHz код човека у мировању у трајању од око 30 минута које изазива SAR целог тела од 1 до 4 W/kg доводи до повећања температуре ткива које не прелази 1°C. Излагање зрачењу које ствара SAR преко 4 W/kg може да изазива повећање температуре ткива које даје штетне ефекте, јер терморегулациони механизми не могу да савладају настало термичко оптерећење (11). Из ових разлога прихваћено је да SAR преко 4 W/kg може да изазива штетне ефекте у нормалним условима средине. Ова вредност је основа за одређивање допуштеног нивоа границе професионалног излагања РФ зрачењу за цело тело од 0,4 W/kg, јер је узет заштитни фактор од 10, док је за општу популацију узет и додатни заштитни фактор од 5 у односу на професионално излагање, што износи 0,08 W/kg. Код локализоване апсорпције допушта се већа горња граница за SAR, те је тако у најновијој препоруци Међународне комисије за заштиту од нејонизујућег зрачења - ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) из 1988. године одређена граница SAR од 2 W/kg усредњено у 10,0 g ткива главе за излагање опште популације, а за професионално излагање 10 W/kg (11). Амерички IEEE (Institut of Electrical and Electronic Engineers) 1992. године је ограничио вршну локализовану SAR на 8 W/kg, усредњену у 1,0 g ткива (12).

РФ зрачење фреквенција које се користе у мобилној телефонији (450-2 200 MHz) спада у регион фреквенција (од око 1 MHz до 10 GHz) код којег при излагању долази до значајне локалне апсорпције енергије зрачења у ткиву човека. Резонантна фреквенција (она на којој се највише апсорбује зрачење) у глави човека јавља се на око 400 MHz, а код деце на око 700 MHz. "Вреле тачке" су места неочекивано велике апсорпције зрачења у možданом ткиву где се може јавити локално експресивно загревање. Оне могу да се јаве у фреквентном опсегу од 300 MHz до 12 GHz. Треба напоменути да се ипак добар део енергије зрачења апсорбује у површинским ткивима - у кожи и у мишићима, са мањом пенетрацијом у главу (3, 13).

Ураћен је већи број одређивања SAR у глави и рукама код корисника мобилних телефона, и то израчунавањем, мерењем или термовизијским путем на фантому разним методама. На овај начин се покушава да одреди у којој мери долази до повећања температуре у možданом ткиву (при чему треба узети у обзир и локалне терморегулационе механизме) и одговори на најважније питање - да ли локално повећање температуре у глави може да доведе до штетних ефеката? Резултати ових истраживања су доста неконзистентни.

Према неким студијама праг локализоване SAR за професионално излагање од 10 W/kg може бити пређен под нормалним условима код снаге телефона мање од 3,2 W за 900 MHz, односно код снаге мање од

2,2 W за 1,8 GHz. SAR за општу популацију неће бити прекорачена код снаге телефона мање од 0,6 W на 900 MHz и код снаге телефона од 0,4 W за 1,8 GHz (процењена удаљеност антене од главе износи око 1,4 cm). У пракси ове постојеће снаге телефона биће мање. Из других студија се може издвојити закључак да раније наведени лимит IEEE од 8 W/kg у 1,0 g масе ткива може бити прекорачен код снаге телефона од 1,7 W за 900 MHz и 1,0 W за 1,8 GHz (1). Наводи се, такође, да су истраживањем добијене локалне SAR у рукама корисника које се крећу у распону 0,09 - 1,9 W/kg, у глави 0,16 - 0,69 W/kg и у мозгу од 0,06 до 0,41 W/kg (2). У току нормалног коришћења телефона типичне снаге од 1 до 2 W граница IEEE за SAR од 8 W/kg неће бити прекорачена. Код јачих телефона - излазне снаге од 7 W, при удаљености 2 cm од главе (очију) вршина SAR за 900 MHz може да буде и 33 W/kg, односно 54 W/kg за 1,8 GHz (1). Највеће вредности SAR очекују се у ткиву на површини главе - тако да је експозиција мозга значајно мања - са фактором 2 у односу на вршну SAR у ткиву лица. У дубини од 5 cm енергија зрачења се атењуира за 90%, тако да према неким прорачунима хипоталамички тракт и хипофиза могу да имају SAR од 0,1 W/kg. Апсорпција у контралатералној страни је много мања - за ред величине једне магнитуде. Претпоставља се да до релативно веће SAR може да дође у глиалном и менингеалном ткиву на спољној површини доњег anteriорног паријеталног лобуса мозга, и то на страни главе на коју се прислања телефон. Изложена је и костна срж плоснатих костију главе и вестибуларни део акустичког нерва (где се иначе јављају неурини). Такође, већа SAR се може да јавља и у паротидној жлезди која је ложирана под образом испод ува, почев од 1 cm дубине. SAR је знатно мања у церебелуму, средњем мозгу, очима и тироидној жлезди (2).

Kuster и сар. (3) наводе, дајући преглед резултата већег броја испитивања SAR код мобилних телефона, да код разних комерцијалних мобилних телефона доступних на тржишту локална вршина SAR може да достиже безбедну границу и да степен апсорпције много зависи од држања телефона. Овде се наводи и процена да код GSM телефона чија је вршина предајна снага већа или једнака од 2 W (средња снага већа или једнака 0,25 W) не долази до штетног термичког ефекта. Иначе, више од 50% излазне снаге зрачења код мобилног телефона се апсорбује у глави корисника уместо да се користи за комуникацију, што је доста неповољно. Из ових разлога треба конструисати телефоне да буду мање снаге и да се већи део енергије користи за оно чему је телефон и намењен - за добру комуникацију (3).

Биолошки ефекти

Када се разматрају биолошки ефекти РФ зрачења које потиче од мобилног телефона онда се ово односи на утицај РФ зрачења фреквенција од 450 MHz до

2 200 MHz, које је фреквентно модулисано (код аналогних телефона) или у другом случају импулсно (амплитудно) модулисано (код дигиталне телефоније) када се назива ELF (екстремно ниских фреквенција) модулисано РФ зрачење.

Термички ефекти овог зрачења могу се дефинисати одређивањем SAR и они се могу јавити код човека када је део тела или цело тело изложено РФ зрачењу при чему долази до повећања температуре у ткиву више од 1°C. Код животиња ово може да доведе до појаве опацитације у сочиву ока, ефеката на плоду и мушком фертилитету (дејство на тестисе), различитих физиолошких и терморегулационих одговора и опадања способности за извршавање менталних задатака (1, 13). За сада се нису могли дефинисати штетни ефекти могућег локалног повећања температуре у глави приликом коришћења мобилних телефона због топлоће у одређивању: степена апсорпције зрачења у глави, SAR, као и степена температурног повећања у ткивима главе која су веома нехомогене структуре.

Могући атермички ефекти (када нема значајног повећања температуре у ткиву) РФ зрачења представљају много већу непознаницу иако је до сада урађен огроман број лабораторијских и епидемиолошких истраживања. Међутим, само мали број ових студија урађен је са изложеношћу РФ зрачењу које има исте карактеристике као код мобилних телефона. Преглед оваквих истраживања може се наћи у литератури (1–3, 5–9, 11, 13). Резултати истраживања биолошког дејства РФ зрачења нису конзистентни, добијен је већи број позитивних, али и негативних резултата код експонираних. Поједини резултати нису могли да се добију у поновљеним студијама, а и приступ у интерпретацији укупних резултата је веома различит.

У студијама је идентификована мембрана ћелије и секвенце на њој као могуће главно примарно место интеракције ELF модулисаног РФ зрачења и ћелије, од чега потиче ефекат утицаја на комуникацију међу ћелијама и пренос сигнала у ћелију. У једном броју студија нађен је утицај на регулацију имунског система; на модулацију функција мозга и функцију ПНС укључујући утицај на епифизу и начин продукције мелатонина (који регулише дневни ритам) и при чему је укључена регулација других хормонских механизма и нормалних естрогених рецепторских формација на грудима (испитиван је утицај на појаву карцинома дојке). Такође је нађено дејство на регулацију ћелијског раста кроз ензимске механизме који утичу на синтезу ДНК и репарацију; дејство РФ зрачења на ћелијску мембрану у смислу хемијског промотора (нпр. при давању форбол естра) у процесу канцерогенезе и као кофактора у формирању тумора итд. (3, 5, 14–19).

У једном броју истраживања се нису могли добити наведени ефекти, а у мањем броју добијени су и супротни ефекти (чак и ефекат заштите у случају развоја једне врсте тумора). Узевши укупно, сва досадашња ис-

траживања нису дала довољно доказа да је РФ зрачење мутагени фактор, нити да иницира појаву канцера. Досадашњи резултати не дају чврсту подлогу за закључивање да ово зрачење има коканцерогени ефекат, ефекат на промоцију и развој тумора (1, 13, 20).

Амплитудно модулисано РФ зрачење може да утиче на електричну активност мозга код мацака и зецева, мења активност ензима орнитин декарбоксилазе и ремети ток јона калцијума из мозга *in vivo* и *in vitro*. Међутим, ово се дешава само на одређеним фреквенцијама (на фреквентним "прозорима") и још увек се није могао одредити значај ових ефеката за човека (1, 11, 13, 20–22).

Импулсно зрачење може да супримира одбрамбени рефлекс и утиче на покрете миша у будном стању, а у одређеном броју студија нађене су промене на ретини, ирису и корнеалном епителијуму код примата. Одређене фреквенције МТ зрачења могу се "чути" у виду крцкања, кликтања или зујања (1, 11, 13, 21).

Већина епидемиолошких студија се односила на могућност појаве рака, односно ризик од појаве леукемије, лимфома, рака дојке, меланома на кожи и тумора мозга. Оне се веома много разликују у дизајну, извођењу и интерпретацији резултата, али и у степену одређивања изложености. У мањем броју студија су добијени резултати који говоре о нешто повећаном ризику, али нема довољно недвосмислених и квалитетних доказа о повећаном ризику од канцерогених ефеката при излагању ЕМ зрачењу за општу популацију, раднике у електричној, електронској и индустрији телекомуникација, као и за кориснике мобилних телефона (1, 11, 22–25). До сада нема убедљивих доказа да дуготрајно излагање РФ зрачењу ниских интензитета може да доведе до озбиљних општења здравља (12). Код корисника мобилних телефона описује се (али веома ретко у научној и стручној литератури) појава главобоље, несанице, заборавности, нервозе, зујања у ушима и других неспецифичних тегоба (3, 6). За сада је урађен веома мали број студија на корисницима мобилних телефона и нема још увек довољно података о било каквим штетним ефектима коришћења мобилних телефона, појави тумора мозга и рака. Међутим, подаци о могућим локалним термичким ефектима и постојању атермичких ефеката РФ зрачења захтевају даље веома обимне и квалитетне епидемиолошке студије.

Европски комитет за стандардизацију из области електротехнике (CENELEC) је од стране Европске организације за стандардизацију (ISO) по директивама Европске комисије 73/23/ЕЕС и 91/263/ЕЕС добио задатак да донесе предлог стандарда у вези безбедних граница за термичке ефекте мобилне телефоније (Mandate M/032) и нетермичке ефекте (Mandate M/033) (3). Светска здравствена организација је 1996. године започела рад на Међународном пројекту о електромагнетским пољима да би се сагледали могући штетни ефекти ових поља, укључујући и мобилне телефоне.

Мере заштите

Код базних станица које су постављене на крову зграде и на антенском стубу непосредна опасност од прекомерног излагања РФ зрачењу постоји на неколико метара од антене у правцу главног снопа зрачења. Код предајног уређаја станице и каблова који енергију зрачења воде до антене приликом општења постоји могућност стварања јачег локализованог поља зрачења у непосредној близини (до око 0,3 m). Из ових разлога онемогућава се непозваним лицима приступ крову зграде, а око антене постављају се заштитне мреже и ограде. Интензитет зрачења које потиче од базних станица по правилу је далеко испод допуштеног за општу популацију у подножју зграде и у околним зградама. Међутим, како код становништва постоји одређени страх од увођења ове нове технологије неопходно је да се приликом постављања нових базних станица мобилне телефоније увек уради анализа утицаја на животну средину (прорачуна и направи дијаграм зрачења од антене), направи договор са представницима локалног становништва, а посебну пажњу треба посветити могућим последицама при постављању антене у близини обданишта, забавишта, школа и терена за игру деце.

Како би се спречио утицај РФ зрачења мобилног телефона на електричне уређаје многе земље су донеле препоруке и техничке стандарде који се односе на спречавање електромагнетске интерференције. Директива Савета ЕЕС Европске уније (ЕМС 89/336/ЕЕС), члан 4, везана је за заштиту уређаја од електромагнетских сметњи (електромагнетска компатибилност) и индиректно се односи и на могућност ометања рада електричних уређаја од стране мобилног телефона. Још увек нису стандардизоване јачине Е и М поља које могу да угрозе рад кардиостимулатора, мада се знају нивои који могу да доведу до сметњи у раду овог уређаја (2). Због могућности ометања рада других уређаја од 1991. године у многим болницама у Европи и САД забрањено је коришћење мобилних телефона, а ово је уведено и у летилицама комерцијалне авијације. У Јапану од 1996. године постоји препорука да безбедна удаљеност мобилног телефона од расетакер-а треба да буде најмање 22 cm, а у Канади се препоручује да се мобилни телефон не носи у горњем левом делу сакоа или кошуље (3).

Основне мере заштите су: не бити непотребно изложен зрачењу, бити што краће у пољу и што даље од извора зрачења. Мобилни телефон треба у току коришћења држати у положају који препоручује произвођач, односно у нормалном или наменском положају - оном који омогућава најбољу комуникацију, при чему антена није најближа глави или оку. Радна група CE-NELEC-а радећи у оквиру раније наведеног мандата Европске уније M/032 дефинисала је основни наменски положај телефона (слушалица постављена у близини уста тако да референтна линија телефона који

спаја центар слушалице са средином дна апарата ствара угао од 80° са линијом која иде кроз главу од једног спољног ушног отвора до другог), а и још три додатна положаја (када телефон додирује уста тако да је овај угао редукован; када наведени угао износи 100° и када је слушалица спуштена испод нивоа уста за 30° тако да угао са слушним каналом износи око 90°). Неке земље и међународне организације (Међународно удружење за заштиту од зрачења - IRPA) одредиле су или прописале различите безбедне границе удаљености телефона и других радио-предајних уређаја од главе у односу на снагу уређаја. Оне се крећу за уређај снаге од 1 W од 4 до 5 cm, за 2 W: 3 cm, радио-телефон од 20 W: 12-40 cm итд. (3). Међутим, велики део корисника мобилних телефона употребљава слушалицу онако како им је то најпогодније. Треба, такође, знати да што је теже одржавање везе то телефон сам користи већу снагу и тиме појачава зрачење од антене. Из ових разлога кад год постоји у затвореној просторији фиксни телефон треба га користити, а тежити да се веза са мобилним телефоном у већој мери користи на отвореном. Зидови просторија од бетона са металном арматуром и подрумске просторије и каросерија аутомобила ометају комуникацију, те се коришћењем мобилног телефона емитује већи износ зрачења. У току успостављања везе мобилним телефоном (када телефон "тражи" базу станицу) у времену од 1/2 до 1 минута користи се много већа излазна снага телефона, те и о овоме треба водити рачуна. Поједини стручњаци препоручују да се повремено у току разговора мења страна главе на коју се прислања слушалица, како би се спречило веће локално загревање ткива у глави. Наочари са металним оквиром, метални имплантати у глави, у устима (металне протезе) и ушима (за појачање слуха) значајно могу да поремете распоред поља и апсорпцију РФ зрачења у глави.

У развоју мобилне телефоније настоји се да се омогући добра веза са уређајима што мање снаге, јер се тиме смањује зрачење од антене и у мањој мери троши батерија у телефону. Поједине компаније су своје системе подесиле тако да излазна снага целуларног телефона не прелази већу од 0,6 W. Одавно се на тржишту могу наћи слушалице и микрофон који су одвојени и омогућавају да се мобилни телефон са антенom држи за појасом, а сада је већ доступна и минијатурна слушалица са уграђеним микрофоном које се ставља у спољњи ушни канал. На тржишту се нуде и посебно конструисане разне врсте штитника и заштитних "апсорбујућих" футрола за телефоне за које није јасно како функционишу. Светска здравствена организација стоји на становишту да нема доказа да ова опрема даје неке корисне ефекте и не препоручује употребу ових "заштитних средстава".

На појединим стручним скуповима су се чули предлози да се уведе обавеза да се на сваки мобилни телефон постави натпис (као и на кутији цигарета) да

уређај може бити опасан по здравље, али ови предлози до сада нису били усвојени.

Што се тиче етичког проблема могућности озрачивања друге особе која је у близини док се употребљава мобилни телефон, чињеница је да овај уређај ствара углавном само локализована поља око антене и да је поље на удаљености на око 30 cm од корисника око 100 пута мање него оно код антене.

Може се закључити да развој мреже базних станица мобилне телефоније доприноси повећању општег електромагнетског окружења у животној средини које углавном потиче од ТВ и радио-станица, али се чини да оно за сада још није много велико. Сигурно је да ће се са развојем сателитске мобилне телефоније у будућности смањити потреба за великим ширењем броја базних станица. Будућност мобилне телефоније лежи

и у потпуном преласку на дигиталну целуларну телефонију и на коришћењу већих фреквенција у односу на оне данашње.

Мобилни телефони су најзначајнији извор РФ зрачења којима је изложено становништво у данашње време. Код појединих телефона локална апсорпција РФ зрачења у ткиву главе и руку може да достигне границе безбедности. Није утврђено да коришћење мобилних телефона доводи до штетних ефеката, појаве малигних обољења и тумора мозга, али је неопходно даље истраживање биолошких ефеката РФ зрачења и спровођење одговарајућих епидемиолошких студија. Новије генерације система мобилних комуникација ће имати телефоне који ће радити са много мањом излажном снагом, што ће смањити могућност озрачивања корисника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Health issues related to the use of hand-held radio telephones and base transmitters. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Phys 1996; 70: 587-93.
2. Rothman KI, Chou CK, Morgan R, Balzano Q, Guy AW, Funch DP, et al. Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research. Epidemiol Res 1996; 7: 291-8.
3. Kuster N, Balzano Q, Lin JC, editors. Mobile communication safety. London: Chamman and Hall; 1997.
4. Fotev A. Ekološki aspekti elektromagnetske kompatibilnosti. In: Zbornik radova Savetovanja Elektromagnetska kompatibilnost - EMC; 1997 juni; 24-25 Beograd, Savezni zavod za standardizaciju; 1997. p. 6.3.1-6.
5. Adey R. Eletromagnetic interactions at cell membranes a paradigm shift in biology. In: The twelfth Sechenov readings. Moscow: The Russian Academy of Sciences; 1996. p. 3-19.
6. Frey AH. Headaches from cellular telephones: are they real and what are the implications? Environ Health Perspect 1998; 106: 101-3.
7. Juutilainen J, de Seze R. Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation. Scand J Work Environ Health 1998; 24: 245-54.
8. European prestandard CENELEC ENV 50166-2:1995 - Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz - 300 GHz).
9. Petersen RC, Testagrossa PA. Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular-radio cell-site antennas. Bioelectromagnetics 1992; 13: 527-42.
10. JUS N.NO.205:1990 - Radio-komunikacije. Radio-frekvencijsko zračenje. Maksimalni nivoi izlaganja koji se odnose na ljude.
11. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Phys 1998; 74: 494-522.
12. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields 3 kHz to 300 GHz. Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE C95.1-1991, New York: IEEE; 1992.
13. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz), Environmental Health Criteria 137. Geneva: UNEP/WHO/IRPA; 1993.
14. Hietanen M. Solving mysteries of bioeffects of nonionizing radiation. Scand J Work Environ Health 1998; 24: 241-3.
15. Fleming AH, Joyner KH. Estimates of absorption of radiofrequency radiation by the embryo and fetus during pregnancy. Health Phys 1992; 63: 149-59.
16. Balcer-Kubiczek EK, Harrison GH. Neoplastic transformation of C3H/10T1/2 cell following exposure to 120 Hz modulated 2.45 - GHz microwaves and phorbol ester tumor promoter. Radiat Res 1991; 426: 65-72.
17. Chou CK, Guy AW, Kunz LL, Johnson RB, Crowley JJ, Krup JH. Long-term, low-level microwave irradiation of rats. Bioelectromagnetics 1992; 13: 469-96.
18. Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y. Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms. Life Sci 1996; 58: 1539-49.
19. Kato M, Honma K, Shigemitsu T, Shiga Y. Recovery of nocturnal melatonin concentration takes place within one week following cessation of 50 Hz circularly polarized magnetic field exposure for six week. Bioelectromagnetics 1994; 15: 489-92.

20. NRPB. Electromagnetic fields and risk of cancer. Report of an Advisory Group on Non-Ionizing Radiation. National Radiological Protection Board, Doc. NRPB, 3.No 1. Washinton D.C.: NRPB, 1992.
 21. *Puranen L, Jokela K.* Radiation hazard assessment of pulsed microwave radars. J Microw Power Electromagn Energy 1996; 31: 165–77.
 22. *Savitz DA, Loomis DP.* Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. Am J Epidemiol 1995; 141: 123–34.
 23. *Savitz DA, John EM, Kleckner RC.* Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. Am J Epidemiol 1990; 131: 763–73.
 24. *Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP, Dreyer NA.* Overall mortality of cellular telephone customers. Epidemiology 1996; 7: 303–5.
 25. *Saffer JD, Thurston SJ.* Cancer risk and electromagnetic fields. Nature 1995; 375: 22–3.
- Рад је примљен 7. IV 1999. год.