

# Účinky dlouhodobého vystavení záření o vlnové délce 60 GHz na genotoxicitu a expresi proteinu tepelného šoku (Hsp) buněk pocházejících z lidského oka

[ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4997488](https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4997488)

Int J Environ Res Public Health. Srpen 2016; 13(8): 802.

Publikováno online 8. srpna 2016. doi: [10.3390/ijerph13080802](https://doi.org/10.3390/ijerph13080802)

PMCID: PMC4997488

PMID: [27509516](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27509516/)

Irena Cosic, akademická redaktorka

Informace o autorovi Poznámky k článku Informace o autorských právech a licenci Odmítnutí odpovědnosti

Jít do:

## Abstraktní

Lidské epiteliální buňky rohovky (HCE-T) a epiteliální buňky lidské čočky (SRA01/04) získané z lidského oka byly vystaveny záření o vlnové délce 60 gigahertzů (GHz) po dobu 24 hodin. Nebylo zjištěno žádné statisticky významné zvýšení frekvence mikrojadér (MN) v buňkách vystavených záření o milimetrové vlnové délce 60 GHz při 1 mW/cm<sup>2</sup> ve srovnání s kontrolními kontrolami a kontrolami v inkubátoru. Frekvence MN buněk ošetřených bleomycinem po dobu 1 hodiny poskytla pozitivní kontroly. Kometový test používaný k detekci zlomů řetězce DNA a exprese proteinu tepelného šoku (Hsp) také neprokázaly žádné statisticky významné účinky expozice. Tyto výsledky naznačují, že expozice záření o milimetrové vlnové délce nemá žádný vliv na genotoxicitu v lidských očních buňkách.

**Klíčová slova:** milimetrové vlny, buněčná genotoxicita, tvorba mikrojadér, kometový test, protein tepelného šoku, dlouhodobá expozice, buňky lidského oka

Jít do:

## 1. Úvod

---

V posledním desetiletí došlo k rychlým změnám v technologii používané k elektronické komunikaci. Nové komunikační technologie nepochybně vzniknou a budou se šířit navzdory omezením dostupných rádiových frekvencí. Existuje proto poptávka po přístupu k novým frekvenčním rozsahům elektromagnetického spektra. Rychlé zavedení bezdrátových zařízení však zvýšilo používání technologií s milimetrovou vlnovou délkou (30–300 gigahertzů (GHz)) a s tím zvýšilo obavy veřejnosti z možných nepříznivých účinků zdrojů záření na lidské zdraví. Již dříve bylo publikováno, že širokopásmová milimetrová vlnová délka při 53–78 GHz významně inhibovala proliferaci buněk melanomu lidské kůže [ 1 ]. Kromě toho Korenstein-Ilan a kol. [ 2 ] uvedl, že záření 0,1 terahertzů (THz) spojitých vln zvyšuje genomovou nestabilitu lidských lymfocytů. Jiná studie ukázala, že exprese genů adiponektinu, GLUT4 a PPAR $\gamma$  vykazovala jasné účinky THz ozáření po prodloužené širokopásmové expozici mezenchymálních myších kmenových buněk [ 3 ]. Nedávná studie uvedla, že THz záření vyvolalo poruchy vřeténka v hybridních buňkách člověka a křečka [ 4 ] a další studie také uváděly negativní fyziologické účinky [ 5 , 6 , 7 ]. Existuje však také několik zpráv, které ukazují některé netepelné účinky na biologické membrány z expozice milimetrové vlnové délce [ 8 , 9 , 10 , 11 , 12 ]. Je proto nutné vyhodnotit vliv nízké expozice lidského těla milimetrovým vlnovým délkám, protože energie milimetrového záření je absorbována povrchem těla, zejména kůží a očima [ 13 , 14 ]. Abychom prozkoumali netepelné účinky záření milimetrových vlnových délek, vyvinuli jsme zařízení pro vystavení buněk milimetrovým vlnám 60 GHz a hodnotili frekvenci tvorby mikrojader (MN), jednořetězcové zlomy v DNA a expresi tepla šokové proteiny (Hsp) v buňkách pocházejících z lidského oka.

Jít do:

## 2. Materiály a metody

---

## 2.1. Nastavení expozice milimetrových vln

---

Použili jsme speciálně navržený přístroj k vystavení buněk 60 GHz milimetrovým vlnám (Obrázek 1a,b). Podrobnosti o expozičním systému byly popsány dříve [ 15 ]. Stručně řečeno, podmínky expozice byly následující. Komora v expozičním systému byla udržována za kontrolovaných podmínek podobných těm v běžném inkubátoru, tj. v atmosféře 95 % vzduchu a 5 % CO<sub>2</sub> při relativní vlhkosti >95 % a teplotě 37 ± 0,1 °C. Expoziční přístroj byl založen na desce s plošnými spoji s plochou ve tvaru disku obklopenou vlnovodem po stěně pro přivádění milimetrových vln do substrátu expoziční oblasti. Kultivační miska o průměru 100 mm byla umístěna na oblast ve tvaru kotouče a na dno misky byly aplikovány milimetrové vlny 60 GHz skrz úzké štěrbinové spojovací okénka na horní straně desky s obvody, čímž byly odhaleny buňky přilnuté k dno kultivační misky na milimetrové vlny. Prostorově zprůměrovaná hustota výkonu byla nastavena na 1 mW/cm<sup>2</sup> na dně kultivačního média a zvýšení teploty bylo udržováno na méně než 0,1 °C.



### Obrázek 1

Vestavěný inkubátor expozičního systému 60 GHz ( **a** ) a vnitřní pohled na inkubátor ( **b** ). Komora expozičního systému byla udržována za řízených podmínek podobných těm v inkubátoru, tj. v atmosféře 95 % vzduchu a 5 % CO<sub>2</sub> při relativní vlhkosti >95 % a teplotě 37 °C.

## 2.2. Buněčná kultura

---

Lidská epitelální buněčná linie rohovky HCE-T (RIKEN CELL BANK, Ibaraki, Japonsko) odvozená z lidských epitelálních buněk rohovky byla udržována v DMEM (Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japonsko): HamF12 (Wako Pure Chemical Industries, Ltd. ) (1:1) médium doplněné 5% fetálním bovinním sérem (FBS), inzulinem (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) v konečné koncentraci 5 µg/ml a lidským epidermálním růstovým faktorem

(Roche , Basilej, Švýcarsko) v konečné koncentraci 10 ng/ml. Tato buněčná linie byla laskavě poskytnuta Masao Taki, Tokyo Metropolitan University. Buněčná linie epiteliálních buněk lidské čočky SRA01/04 (RIKEN CELL BANK) odvozená z epiteliálních buněk lidské čočky byla udržována v médiu DMEM (Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) doplněném 20 % FBS. Tato buněčná linie byla laskavě poskytnuta Hiroshi Sasaki, Kanazawa Medical University.<sup>6</sup> buněk/ml s celkovým objemem 11,6 ml média pro úpravu tloušťky vrstvy média na 2 mm pro ideální expozici. Po kultivaci přes noc byly buňky vystaveny 60 GHz. Buňky byly odebrány 24 hodin po vystavení záření o milimetrové vlnové délce. Pro pozitivní kontroly byly buňky ošetřeny 10 µg/ml bleomycinu po dobu 1 hodiny pro test genotoxicity a teplem (43 °C po dobu 2 hodin a poté 37 °C po dobu 1 nebo 2 hodin) pro test exprese Hsp.

### **2.3. Mikronukleus (MN) Frekvence**

---

Metodika provádění testu tvorby mikrojadérek (MN) byla popsána dříve [ 16 ]. Stručně řečeno, po expozici záření o milimetrové vlnové délce nebo 10 µg/ml bleomycinu po dobu 1 hodiny byly buňky kultivovány v médiu doplněném 3 µg/ml cytochalasinu B (Sigma-Aldrich) v běžném inkubátoru po dobu 24 hodin, odstředěny na sklíčka za použití centrifuga Cytospin (Shandon Southern Instruments Ltd., Cambridge, UK) při 100 x *g* po dobu 5 minut, fixována studeným 80% ethanolem po dobu 30 minut a obarvena 0,2 µg/ml propidium jodidu (Sigma-Aldrich). Celkem bylo spočítáno 1000 dvoujaderných buněk a frekvence tvorby MN byla stanovena pomocí fluorescenčního mikroskopu (Olympus, Tokio, Japonsko) podle kritérií popsaných dříve [ 17 ]. Byly provedeny nejméně tři nezávislé testy.

### **2.4. Kometový test**

---

Kometový test byl proveden pomocí soupravy Trevigen Comet Assay Kit (Trevigen Inc., Gaithersburg, MD, USA) k detekci zlomů řetězce DNA na úrovni jednotlivých buněk, jak bylo popsáno dříve [ 18 ].

Stručně řečeno, buňky byly vystaveny záření o milimetrové vlnové délce po dobu 24 hodin, shromážděny trypsinizací a odstředěny ihned po expozici, poté smíchány s agarózou s nízkou teplotou tání, aby se připravila buněčná suspenze v 0,1% agaróze/fosfátem pufrovaném fyziologickém roztoku (PBS). Po gelovatění agarózy byly buňky lyžovány a poté bylo provedeno alkalické odvíjení (1 h při 4 °C, pH > 13). Výsledné vzorky DNA byly podrobeny elektroforéze při 1 V/cm po dobu 30 minut v 0,3 M NaOH (Nacalai Tesque, Kyoto, Japonsko) a 1 mM ethylendiaminu- *N*, *N*, *N'*, *N'* roztok kyseliny ' - tetraoctové (Sigma-Aldrich). Poté, co byla DNA obarvena SYBR Green I, byly imunofluorescenční snímky zachyceny pomocí fluorescenčního mikroskopu (Olympus, Tokio, Japonsko). Zlomy řetězce DNA byly analyzovány pomocí softwaru Comet (Perceptive Instruments, Suffolk, UK). Bylo analyzováno alespoň 100 komet z každého gelu a bylo provedeno alespoň pět nezávislých experimentů. Délka ocasu udává délku pixelu ohonu komety, procento ocasu udává procento obsahu ohonu vzhledem k obsahu komety a ocasní moment byl vypočítán následovně:

Ocasní moment = (vzdálenost mezi středem hlavy komety a středem ohonu komety) × (procento ocasu)/100

(1)

## 2.5. Hsp Expression

---

Metodika pro kvantifikaci exprese Hsp byla popsána dříve [ 18]. Stručně, po expozici milimetrové vlnové délce nebo tepelném ošetření byly buňky promyty studeným PBS, shromážděny pomocí buněčné škrabky a proteiny byly extrahovány pomocí CelLytic™-M (Sigma-Aldrich) doplněného koktejlem inhibitorů proteázy (Sigma-Aldrich). Extrahované proteiny byly inkubovány při 4 °C po dobu 15 minut a centrifugovány při 100 x g po dobu 15 minut. Supernatanty byly shromážděny a koncentrace proteinu byly měřeny pomocí čtečky destiček iMark (Bio-Rad, Hercules, CA, USA) a kalibrační křivky a upraveny na 1 mg/ml. Vzorky byly smíchány s 2ME

vzorkovým pufrem (Wako) v poměru 1:1 a inkubovány při 100 °C po dobu 1 minuty, poté ihned umístěny na led. Extrahovaný protein (20 ug) byl nanesen na 12,5% dodecylsulfát sodný (SDS)-polyakrylamidový gel (Wako), oddělený elektroforézou, a přeneseny na nitrocelulósovou membránu (Life Technologies Japan, Tokio, Japonsko) pomocí iBlot (Life Technologies Japan). Pro blokování a imunobarvení byl použit BenchPro™ 4100 (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA). Membrána byla blokována odstředěným mlékem (DS Farma Biomedical, Osaka, Japonsko) po dobu 1 hodiny a imunobarvena protilátkami po dobu 1 hodiny. Primární protilátka pro Hsp27 (R&D Systems, Minneapolis, MN, USA, 1:10 000), Hsp70 (StressMarq Biosciences Inc., Victoria, BC, Kanada, 1:1000), Hsp90α (StressMarq, 1:2000) a β-aktin (Sigma-Aldrich, 1:1000). Použité sekundární protilátky byly anti-myší (GE Healthcare, Tokio, Japonsko, 1:1000), anti-kozí (R&D, 1:500) a anti-králičí (Sigma-Aldrich, 1:500). Po imunobarvení byly membrány obarveny křenovou peroxidázou, následovala analýza pomocí softwaru ATTO Image Analysis Software (Tokyo, Japonsko). Byly provedeny alespoň tři nezávislé experimenty.

## 2.6. Statistická analýza

---

Data byla analyzována pomocí Tukeyova testu. *Hodnoty*  $p < 0,05$  nebo  $0,01$  byly považovány za statisticky významné. Statistická síla ( $1-\beta$ ) v testu MN a kometového testu byla vypočtena pomocí velikosti účinku ( $f$ ) =  $0,1$ . Všechny testy byly provedeny zaslepeným způsobem.

Jít do:

## 3. Výsledky

---

### 3.1. Formace MN

---

Frekvence tvorby MN v buňkách HCE-T a SRA01/04 je uvedena v Obrázek 2a,b, resp. Frekvence MN v buňkách HCE-T a SRA01/04 se významně zvýšila po léčbě bleomycinem, zatímco mezi kontrolou v

inkubátoru, falešnou expozicí a buňkami vystavenými milimetrové vlnové délce nebyl pozorován žádný významný rozdíl. Tyto výsledky naznačují, že 24 hodinová expozice záření o milimetrové vlnové délce 60 GHz nemusí mít žádný významný vliv na frekvenci MN v buňkách HCE-T a SRA01/04.



### Obrázek 2

Frekvence mikrojader v buňkách vystavených záření o milimetrové vlnové délce při 60 GHz po dobu 24 hodin: buňky HCE-T ( **a** ) a buňky SRA01/04 ( **b** ). Léčba bleomycinem (10 ug/ml) poskytla pozitivní kontroly. Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD ze tří nezávislých experimentů. Hvězdičky \*\* označují  $p < 0,01$ .  $f = 0,1$ ,  $(1-\beta) = 0,9903$ .

### **3.2. Kometový test**

---

Ocasní momenty lyžovaných buněk HCE-T a SRA01/04 jsou uvedeny v Obrázek 3a,b, resp. Ocasní moment udává stupeň genotoxického účinku na DNA. Ocasní momenty buněk HCE-T i SRA01/04 se významně zvýšily po ošetření bleomycinem, zatímco nebyl pozorován žádný významný rozdíl v ocasním momentu mezi kontrolními vzorky inkubátoru, kontrolními vzorky a vzorky vystavenými působení milimetrových vln. Ocasní momenty byly vypočteny pomocí délky ocasu a procenta ocasu. Výsledky těchto hodnot byly statisticky téměř stejné jako výsledky ocasního momentu (data nejsou uvedena). Tyto výsledky naznačují, že 24 hodinová expozice záření o vlnové délce 60 GHz nemusí mít žádný významný vliv na kometový test buněk HCE-T a SRA01/04.



### Obrázek 3

Hodnoty parametru komety (ocasový moment) pro buňky vystavené záření o milimetrové vlnové délce 60 GHz po dobu 24 h: HCE-T ( **a** ) a SRA01/04 ( **b** ). Pozitivní kontrolou bylo ošetření bleomycinem (10 ug/ml). Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD ze tří nezávislých experimentů. Hvězdičky \*\* označují  $p < 0,01$ .  $f = 0,1$ ,  $(1-\beta) = 0,2193$ .

### 3.3. Hsp Expression

---

Expresse Hsp27, 70 a 90a v HCE-T buňkách je ukázána v Obrázek 4a–c, resp. Tepelné zpracování (Hsp27: 43 °C (2 h) až 37 °C (1 h), Hsp70 a 90a: 43 °C (2 h) až 37 °C (2 h)) jasně zvýšilo hladinu každého Hsp. Expresse Hsp27, 70 a 90a v buňkách SRA01/04 je ukázána v Obrázek 5a–c, resp. Tepelné zpracování (Hsp27: 43 °C (30 min) až 37 °C (2 h), Hsp70: 43 °C (2 h) až 37 °C (2 h), Hsp90a: 43 °C (3 h)) významně zvýšil hladinu každého Hsp.



#### Obrázek 4.

Expresse Hsp27 ( **a** ); Hsp70 ( **b** ) a Hsp90a ( **c** ) v buňkách HCE-T vystavených záření 60 GHz po dobu 24 hodin. Pozitivní kontrola byla podrobena tepelnému ošetření při 43 °C po dobu 2 hodin. Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD ze tří nezávislých experimentů. Hvězdičky \*\* označují  $p < 0,01$ .



#### Obrázek 5.

Expresse Hsp27 ( **a** ); Hsp70 ( **b** ) a Hsp90a ( **c** ) v buňkách SRA01/04 vystavených záření 60 GHz po dobu 24 hodin. Pozitivní kontrola byla podrobena tepelnému ošetření při 43 °C po dobu 30 minut (Hsp27), 2 hodiny (Hsp70) a 3 hodiny (Hsp90a). Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD ze tří nezávislých experimentů. Hvězdičky \* a \*\* označují  $p < 0,05$ , respektive 0,01.

Jít do:

## 4. Diskuze

---



---

V této studii jsme hodnotili účinky vystavení záření o vlnové délce 60 GHz při konstantní teplotě po dobu 24 hodin na buněčnou genotoxicitu a stresové reakce pomocí buněk HCE-T a SRA01/04. Nebyly detekovány žádné účinky na tvorbu MN, jednořetězcové zlomy v DNA a expresi Hsp27, 70 a 90 $\alpha$ , což ukazuje na absenci netepelných účinků vystavení milimetrové vlnové délce.

Několik studií hodnotilo biologické účinky vystavení milimetrovým vlnovým délkám a zjistilo účinky na neuronální aktivitu [ 11 ], proliferaci [ 19 ] a buněčný metabolismus [ 20 ] a také účinky na genomickou nestabilitu [ 2 ]. Korenstein-Ilan a kol. popsali, že nepřetržitá aplikace záření 0,1 THz (0,031 mW/cm<sup>2</sup>) na lidské lymfocyty po dobu 2 nebo 24 hodin vyvolala genomovou nestabilitu chromozomů 11 a 17, detekovanou pomocí fluorescenční hybridizační metody in situ, a navrhli, že taková expozice může mít za následek zvýšené riziko rakoviny. Naproti tomu v této studii jsme detekovali pouze tvorbu mikrojader (Obrázek 2) a zlomy řetězce DNA (Obrázek 3) indukované léčbou bleomycinem, a nikoli vystavením záření o milimetrové vlnové délce 60 GHz po dobu 24 hodin, což naznačuje, že expozice nezpůsobila zvýšení genotoxicity. Tyto protichůdné výsledky mohou být způsobeny rozdíly ve frekvenci, hustotě výkonu nebo experimentálním uspořádání mezi těmito dvěma studii, a proto základní faktory těchto nesrovnalostí vyžadují další zkoumání.

Alexandrov a kol. uvádí údaje ukazující netepelné účinky na genovou expresi buněk po expozici terahertzovému záření [ 3]. Použili mezenchymální myši kmenové buňky vystavené širokopásmovému pulznímu záření 10 THz, což je systém, který je zcela odlišný od systému použitého v současné studii. Důležité je, že nezjistili rozdíly v hladinách proteinů proteinů tepelného šoku Hsp105, 90 a CPR, což je v souladu s naší studií, ačkoli hladiny exprese tří odpovídajících genů vykazovaly jasné účinky ozáření THz. V naší studii jsme detekovali zvýšení exprese Hsp po tepelném ošetření, použitém jako pozitivní kontrola, ale ne vystavením záření o milimetrové vlnové délce 60 GHz po dobu 24 hodin, což naznačuje, že tato expozice

nezpůsobila upregulaci Hsp. Kromě Hsp27, 70 a 90 $\alpha$  zkoumaných v současné studii je zapotřebí další práce na zkoumání dalších proteinů.

Velké množství literatury neuvádí žádné nepříznivé účinky expozice záření o milimetrových vlnových délkách. Beneduci a kol. [ 21 ] ukázaly, že dlouhodobé vystavení buněk melanomu lidské kůže záření 42 GHz a 53 GHz při hustotě výkonu nižší než 0,3 mW/cm<sup>2</sup> nevyvolalo žádný vliv na buněčný cyklus těchto buněk. Nicolaz a kol. [ 22 ] popsali, že vystavení záření 60,4 GHz při hustotě výkonu 0,14 mW/cm<sup>2</sup> nezpůsobilo stres endoplazmatického retikula v lidských gliových buňkách. Le Dréanova skupina také publikovala studie o účincích záření 60,4 GHz [ 23 , 24 , 25 ]. Le Quément a kol. [ 23 , 24 ] nevykázaly žádné významné rozdíly v genové expresi po expozici záření o milimetrové vlnové délce: ačkoli po 6 hodinách expozice při 20 mW/cm<sup>2</sup> analýza PCR v reálném čase ukázala, že některé úrovně genové exprese byly ovlivněny a tento účinek byl spojen se zvýšenou teplotou způsobené expozicí. Haas a kol. [ 25 ] také naznačili, že mírné zvýšení proteinové exprese pozorované po expozici 60,4 GHz po dobu 24 hodin souviselo se zahříváním a že nebyly žádné rozdíly v proteinové expresi neuronového markeru  $\beta$ -tubulinu nebo ve vnitřní expresi kontrolního  $\beta$ -tubulin, v souladu s našimi údaji. V samostatné studii však stejná skupina navrhla specifické účinky na milimetrovou vlnovou délku [ 26 ]: konkrétně, že vystavení milimetrovým vlnovým délkám vyvolalo drastickou modifikaci celého genového expresního systému primárně spojeného s tepelnými účinky záření, ačkoli nebyly nalezeny žádné významné rozdíly v hladinách exprese několika genů bez tepelných účinků. V současné studii jsme nemohli detekovat žádné účinky na genotoxicitu a expresi Hsp, ale molekulární mechanismy, které jsou základem buněčných odpovědí po expozici milimetrové vlnové délce, zbývá určit.

Vijayalaxmi a kol. [ 27] uvedli, že testy genotoxicity neposkytly žádný důkaz pro indukci tvorby MN v myších buňkách periferní krve a kostní dřeně vystavených elektromagnetickému záření o vlnové délce 42 GHz, což je v souladu s našimi údaji. Souhrnně řečeno, většina dosavadních studií neprokázala žádný účinek vystavení záření o milimetrových vlnových délkách, ačkoli několik studií účinky prokázalo. Tyto kontroverzní výsledky mohou pocházet z rozdílů v experimentálních podmínkách. Celkově se zdá, že vystavení záření o milimetrové vlnové délce nemá žádný genotoxický účinek a nemění expresi Hsp v nepřítomnosti tepelných účinků. Naše studie však byla provedena za specifických podmínek. Bylo prokázáno, že účinky mikrovln včetně záření o milimetrové vlnové délce silně závisí na řadě fyzikálních parametrů, jako je frekvence, [ 28 , 29 ]. Musíme být opatrnější při porovnávání dat, která byla provedena za různých podmínek. Navíc musíme vzít v úvahu rigidní statistické výpočty, které nám mohou chybět. V této studii jsme získali vysokou statistickou sílu v testu MN; v kometárním testu jsme však nemohli získat dostatečnou statistickou sílu. Měli bychom si být pečlivě vědomi těchto statistických problémů.

V současné době provádíme podobné studie využívající záření 40 GHz.

Jít do:

## **5. Závěry**

---

Zjištění z této studie naznačují, že vystavení buněk HCE-T a SRA01/04 záření o milimetrové vlnové délce při 60 GHz po dobu 24 hodin nemá žádný významný vliv na frekvenci MN, jednovláknové zlomy v DNA nebo expresi Hsp. Závěrem lze říci, že se nezdá, že by vystavení buněk záření o milimetrové vlnové délce při 60 GHz mělo nepříznivé účinky na genotoxicitu nebo expresi Hsp kultivovaných buněk HCE-T a SRA01/04 za použití našich specifických experimentálních podmínek, ačkoliv možné účinky jiných frekvence vyžadují další studium.

Jít do:

## Poděkování

---

Tato práce byla částečně podpořena grantem Ministerstva vnitra a komunikací Japonska a Frontier Researches in Sustainable Humanosphere.

Jít do:

## Zkratky

---

V tomto rukopisu jsou použity následující zkratky:

GHz	gigahertz
THz	Terahertz
HCE-T	Lidský epitel rohovky
SRA01/04	Epitel lidské čočky
MN	Mikronukleus
Hsp	Protein tepelného šoku

Jít do:

## Autorské příspěvky

---

Shin Koyama, Eijiro Narita a Yoko Shimizu provedli experimenty; Yukihisa Suzuki, Takeo Shiina a Masao Taki postavili expoziční stroj a vyhodnotili podmínky; Naoki Shinohara a Junji Miyakoshi radili ohledně experimentů a papíru; Shin Koyama napsal noviny.

Jít do:

## Střet zájmů

---

Autoři neprohlašují žádný střet zájmů.

Jít do:

## Reference

---

1. Beneduci A., Chidichimo G., De Rose R., Filippelli L., Straface SV, Venuta S. Antiprolifirativní účinek nízkovýkonových milimetrových vln na buněčnou linii lidského melanomu RPMI 7932 závislý na čase a frekvenci ozáření. *Anticancer Res.* 2005; 25 :1023-1028. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ] [ [PMC volný článek](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [Křížový odkaz](#) ]
2. Korenstein-Ilan A., Barbul A., Hasin P., Eliran A., Gover A., Korenstein R. Terahertzové záření zvyšuje genomovou nestabilitu v lidských lymfocytech. *Záření. Res.* 2008; 170 :224-234. doi: 10.1667/RR0944.1. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
3. Alexandrov BS, Rasmussen K.Ø., Bishop AR, Usheva A., Alexandrov LB, Chong S., Dagon Y., Booshehri LG, Mielke CH, Phipps ML, et al. Netepelné účinky terahertzového záření na genovou expresi v myších kmenových buňkách. *Biomed. Opt. Vyjádřit.* 2011; 2 :2679–2689. doi: 10.1364/BOE.2.002679. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
4. Hintzsche H., Jastrow C., Kleine-Ostmann T., Stopper H., Schmid E., Schrader T. Terahertzové záření indukuje poruchy vřeténka v hybridních buňkách člověka a křečka. *Radiat. Res.* 2011; 175 :569-574. doi: 10.1667/RR2406.1. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
5. Scarfi MR, Romanò M., Di Pietro R., Zeni O., Doria A., Gallerano GP, Giovenale E., Messina G., Lai A., Campurra G., et al. THz expozice plné krve pro studium biologických účinků na lidské lymfocyty. *J. Biol. Phys.* 2003; 29 :171-176. doi: 10.1023/A:1024440708943. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
6. Bourne N., Clothier RH, D'Arienzo M., Harrison P. Účinky terahertzového záření na primární kultury lidských keratinocytů a kultury nervových buněk. *Alternativní. Laboratoř. Anim.* 2008; 36 :667-684. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
7. Hintzsche H, Jastrow C, Heinen B, Baaske K, Kleine-Ostmann T, Schwerdtfeger M, Shakfa MK, Kärst U, Koch M, Schrader T, et al. Terahertzové záření při 0,380 THz a 2,520 THz nevede k poškození

- DNA v kožních buňkách in vitro. Záření. Res. 2013; 179 :38–45. doi: 10.1667/RR3077.1. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
8. Pikov V., Arakaki X., Harrington M., Fraser SE, Siegel PH  
Modulace neuronální aktivity a vlastností plazmatické membrány pomocí nízkovýkonových milimetrových vln v organotypických kortikálních řezech. J. Neural Eng. 2010; 7 doi: 10.1088/1741-2560/7/4/045003. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
9. Beneduci A., Cosentino K., Romeo S., Massa R., Chidichimo G.  
Vliv milimetrových vln na modely fosfatidylcholinové membrány: netepelný mechanismus interakce. Měkká hmota. 2014; 10 :5559-5567. doi: 10.1039/C4SM00551A. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
10. Cosentino K., Beneduci A., Ramundo-Orlando A., Chidichimo G.  
Vliv milimetrových vln na fyzikální vlastnosti velkých a obřích unilamelárních vezikul. J. Biol. Phys. 2013; 39 :395-410. doi: 10.1007/s10867-012-9296-2. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
11. Romanenko S., Siegel PH, Wagenaar DA, Pikov V. Účinky ozařování milimetrovými vlnami a ekvivalentního tepelného ohřevu na aktivitu jednotlivých neuronů v ganglionu pijavic. J. Neurophysiol. 2014; 112 :2423–2431. doi: 10.1152/jn.00357.2014. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
12. Ramundo-Orlando A., Longo G., Cappelli M., Girasole M., Tarricone L., Beneduci A., Massa R. Odpověď obřích fosfolipidových vezikul na záření milimetrových vln. Biochim. Biophys. Acta. 2009; 1788 :1497–1507. doi: 10.1016/j.bbam.2009.04.006. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
13. Gandhi OP, Hagmann MJ, Hill DW, Partlow LM, Bush L.  
Milimetrová vlnová absorpční spektra biologických vzorků. Bioelektromagnetické. 1980; 1 :285-298. doi: 10.1002/bem.2250010305. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
14. Gándhího OP Některé základní vlastnosti biologických tkání pro potenciální biomedicínské aplikace milimetrových vln. J. Microw.

Napájení. 1983; 18 :295-304. doi:

10.1080/16070658.1983.11689334. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

15. Shiina T., Suzuki Y., Watanabe S., Taki M. Vysoce účinný aplikátor založený na desce s plošnými spoji v oblasti milimetrových vln. IEEE Trans. Mikrovlnná trouba. Teorie Tech. 2015; 63 :3311-3318. doi: 10.1109/TMTT.2015.2472401. [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

16. Koyama S., Isozumi Y., Suzuki Y., Taki M., Miyakoshi J. Účinky elektromagnetických polí 2,45 GHz se širokým rozsahem SAR na tvorbu mikrojader v buňkách CHO-K1. Sci. World J. 2004; 4 :29–40. doi: 10.1100/tsw.2004.176. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

17. Countryman PI, Heddle JA Produkce mikrojader z chromozomových aberací v ozářených kulturách lidských lymfocytů. Mutat. Res. 1976; 41 :321-332. doi: 10.1016/0027-5107(76)90105-6. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

18. Sakurai T., Kiyokawa T., Kikuchi K., Miyakoshi J. Středofrekvenční magnetická pole generovaná varnou deskou s indukčním ohřevem (IH) neovlivňují genotoxicitu a expresi proteinů tepelného šoku. Int. J. Radiat. Biol. 2009; 85 :883-890. doi: 10.1080/09553000903184358. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

19. Chidichimo G., Beneduci A., Nicoletta M., Critelli M., De Rose R., Tkatchenko Y., Abonante S., Tripepi S., Perrotta E. Selektivní inhibice růstu nádorových buněk pomocí milimetrových vln s nízkou energií. Anticancer Res. 2002; 22 :1681–1688. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

20. Beneduci A., Chidichimo G., Tripepi S., Perrotta E., Cufone F. Antiproliferativní účinek milimetrového záření na buněčnou linii lidské erytromyeloidní leukémie K562 v kultuře: Ultrastrukturální a metabolické změny. Bioelektrochemie. 2007; 70 :214-220. doi: 10.1016/j.bioelechem.2006.07.008. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

21. Beneduci A. Vyhodnocení potenciálních in vitro antiproliferativních účinků milimetrových vln při některých terapeutických frekvencích na buňky maligního melanomu lidské kůže RPMI 7932. Hodnocení potenciálních in vitro antiproliferativních účinků milimetrových vln při některých terapeutických frekvencích na buňky maligního melanomu lidské kůže RPMI 7932. *Cell Biochem. Biophys.* 2009; 55 :25–32. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
22. Nicolaz CN, Zhadobov M., Desmots F., Sauleau R., Thouroude D., Michel D., Le Drean Y. Absence přímého účinku nízkovýkonového záření milimetrových vln při 60,4 GHz na napětí endoplazmatického retikula. *Cell Biol. Toxicol.* 2009; 25 :471-478. doi: 10.1007/s10565-008-9101-y. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
23. Le Quément C., Nicolaz CN, Zhadobov M., Desmots F., Sauleau R., Aubry M., Michel D., Le Dréan Y. Analýza exprese celého genomu v primárních lidských keratinocytových buněčných kulturách vystavených záření 60 GHz . *Bioelektromagnetické.* 2012; 33 :147-158. doi: 10.1002/bem.20693. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
24. Le Quément C., Nicolaz CN, Habauzit D., Zhadobov M., Sauleau R., Le Dréan Y. Dopad 60-GHz milimetrových vln a odpovídající tepelný efekt na genovou expresi senzoru stresu endoplazmatického retikula. *Bioelektromagnetické.* 2014; 35 :444-451. doi: 10.1002/bem.21864. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
25. Haas AJ, Le Page Y., Zhadobov M., Sauleau R., Le Dréan Y. Účinky 60-GHz milimetrových vln na vyrůstání neuritů v buňkách PC12 pomocí screeningu s vysokým obsahem. *Neurosci. Lett.* 2016; 618 :58–65. doi: 10.1016/j.neulet.2016.02.038. [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
26. Habauzit D., Le Quément C., Zhadobov M., Martin C., Aubry M., Sauleau R., Le Dréan Y. Analýza transkriptomu odhaluje příspěvek tepelné a specifické účinky v buněčné odpovědi na expozici milimetrovým vlnám. *PLoS ONE.* 2014; 9 :802. doi:



10.1371/journal.pone.0109435. [ [bezplatný článek PMC](#) ] [ [PubMed](#) ] [ [CrossRef](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

27. Vijayalaxmi, Logani MK, Bhanushali A., Ziskin MC, Příhoda TJ  
Mikrojádra v buňkách periferní krve a kostní dřeně myši vystavených  
42 GHz elektromagnetickým milimetrovým vlnám. Radiat. Res.

2004; 161 :341–345. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

28. Beljajev I. Závislost netepelných biologických účinků mikrovln na  
fyzikálních a biologických proměnných: Důsledky pro

reprodukovatelnost a bezpečnostní standardy. Eur. J. Oncol. Libr.

2010; 5 :187-218. [ [Google Scholar](#) ]

29. IARC (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny) Monografie  
IARC o hodnocení karcinogenních rizik pro člověka. Neionizující  
záření, Část 2: Radiofrekvenční elektromagnetická pole. Svazek 102.

IARC Press; Lyon, Francie: 2013. s. 1–406. [ [bezplatný článek PMC](#) ]

[ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]

---

Články z International Journal of Environmental Research and  
Public Health jsou poskytovány zde s laskavým svolením

**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)**

---