



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Effects of exposure to 2100 MHz GSM-like radiofrequency electromagnetic field on auditory system of rats[☆]



Metin Çeliker^a, Abdulkadir Özgür^{b,*}, Levent Tümkaya^c, Suat Terzi^b,
Mustafa Yılmaz^d, Yıldırım Kalkan^c e Ender Erdoğan^d

^a Recep Tayyip Erdogan University, Research and Training Hospital, Department of Otorhinolaryngology, Rize, Turquia

^b Recep Tayyip Erdogan University, Medical Faculty, Department of Otorhinolaryngology, Rize, Turquia

^c Recep Tayyip Erdogan University, Medical Faculty, Department of Histology and Embryology, Rize, Turquia

^d Selçuk University, Medical Faculty, Department of Histology and Embryology, Konya, Turquia

Recebido em 13 de agosto de 2016; aceito em 9 de outubro de 2016

Disponível na Internet em 7 de junho de 2017

KEYWORDS

Cochlear nuclei;
Neuronal
degeneration;
Electromagnetic
radiation

Abstract

Introduction: The use of mobile phones has become widespread in recent years. Although beneficial from the communication viewpoint, the electromagnetic fields generated by mobile phones may cause unwanted biological changes in the human body.

Objective: In this study, we aimed to evaluate the effects of 2100 MHz Global System for Mobile communication (GSM-like) electromagnetic field, generated by an electromagnetic fields generator, on the auditory system of rats by using electrophysiological, histopathologic and immunohistochemical methods.

Methods: Fourteen adult Wistar albino rats were included in the study. The rats were divided randomly into two groups of seven rats each. The study group was exposed continuously for 30 days to a 2100 MHz electromagnetic fields with a signal level (power) of 5.4 dBm (3.47 mW) to simulate the talk mode on a mobile phone. The control group was not exposed to the aforementioned electromagnetic fields. After 30 days, the Auditory Brainstem Responses of both groups were recorded and the rats were sacrificed. The cochlear nuclei were evaluated by histopathologic and immunohistochemical methods.

Results: The Auditory Brainstem Responses records of the two groups did not differ significantly. The histopathologic analysis showed increased degeneration signs in the study group ($p=0.007$). In addition, immunohistochemical analysis revealed increased apoptotic index in the study group compared to that in the control group ($p=0.002$).

DOI se refere ao artigo: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2016.10.004>

[☆] Como citar este artigo: Çeliker M, Özgür A, Tümkaya L, Terzi S, Yılmaz M, Kalkan Y, et al. Effects of exposure to 2100 MHz GSM-like radiofrequency electromagnetic field on auditory system of rats. Braz J Otorhinolaryngol. 2017;83:691–6.

* Autor para correspondência.

E-mail: akozgur53@gmail.com (A. Özgür).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

PALAVRAS-CHAVE

Núcleo coclear;
Degeneração
neuronal;
Radiação
eletromagnética

Conclusion: The results support that long-term exposure to a GSM-like 2100 MHz electromagnetic fields causes an increase in neuronal degeneration and apoptosis in the auditory system. © 2016 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Efeitos da exposição a um campo eletromagnético na radiofrequência de 2100 MHz, similar ao sistema GSM, no sistema auditivo de ratos

Resumo

Introdução: O uso de telefones celulares tornou-se generalizado nos últimos anos. Embora benéfico do ponto de vista da comunicação, os campos eletromagnéticos gerados por celulares pode causar alterações biológicas indesejáveis no corpo humano.

Objetivo: Nesse estudo, o objetivo foi avaliar os efeitos do campo eletromagnético na frequência de 2.100 MHz, similar à modulação do Sistema Global para Comunicações Móveis, produzido por um gerador de campo eletromagnético, sobre o sistema auditivo de ratos usando os métodos eletrofisiológico, histopatológico e imunohistoquímico.

Método: Foram incluídos no estudo catorze adultos ratos albinos Wistar. Os ratos foram divididos aleatoriamente em dois grupos de sete animais cada. O grupo de estudo foi exposto continuamente por 30 dias a um campo eletromagnético em 2100 MHz com um nível de sinal (potência) de 5,4 dBm (3,47 miliwatts) para simular o modo de conversação em um celular. O grupo controle não foi exposto ao campo eletromagnético acima mencionado. Após 30 dias, o potencial evocado auditivo de tronco encefálico de ambos os grupos foi gravado e os ratos foram sacrificados. Os núcleos cocleares foram avaliados pelos métodos histopatológico e imunohistoquímico.

Resultados: Os registros do potencial evocado auditivo de tronco encefálico dos dois grupos não diferiram significativamente. A análise histopatológica mostrou aumento dos sinais de degeneração no grupo de estudo ($p=0,007$). Além disso, a análise imuno-histoquímica revelou aumento do índice de apoptose no grupo de estudo em comparação com o grupo controle ($p=0,002$).

Conclusão: Os resultados confirmam que a exposição a longo prazo a um campo eletromagnético em 2100 MHz similar à modulação do sistema global para comunicações móveis causa um aumento na degeneração neuronal e apoptose no sistema auditivo.

© 2016 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

O uso de celulares tornou-se generalizado nos últimos anos. Embora benéfico do ponto de vista da comunicação, os campos eletromagnéticos (EMF, do inglês *Electromagnetic Field*) gerados por telefones celulares podem causar alterações biológicas indesejáveis no corpo humano.^{1,2}

As frequências de operação dos dispositivos sem fio situam-se na faixa de 30 kHz a 300 GHz. Dispositivos que operam nessa frequência produzem um efeito denominado campo eletromagnético de radiofrequência (RF-EMF, do inglês *Radiofrequency Electromagnetic Field*).³ Os telefones celulares operam na faixa de frequência 800-3.500 MHz e os celulares de terceira geração (3G) usam principalmente a frequência 2.100 MHz.⁴ Os EMF gerados por esses dispositivos e pelas estações base que conectam os aparelhos têm se tornado um problema crescente de saúde pública.¹ Em uma declaração publicada pela *World Health Organization International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group*, em 2011, o RF-EMF foi aceito como um

possível agente cancerígeno para os seres humanos, após avaliação de estudos experimentais e com humanos sobre o impacto do RF-EMF.³ Dois grandes estudos de caso-controle multicêntricos investigaram a relação entre tumores cerebrais e o uso do telefone celular. Um desses estudos encontrou uma associação significativa entre o uso de celular e a ocorrência de tumor cerebral maligno.⁵ Em contraste, outro estudo mostrou que 10 anos de uso do celular não aumentaram significativamente o risco de neuroma acústico, embora tenha sido enfatizado que o período de acompanhamento foi insuficiente para um tumor de crescimento lento.⁶

Os estudos que investigam os efeitos do uso do telefone celular no sistema auditivo têm sido focados geralmente na perda auditiva coclear e os estudos das emissões otoacústicas têm sido os mais usados nas avaliações. Vários desses estudos não encontraram efeito significativo do RF-EMF sobre o sistema auditivo, enquanto outros observaram achados menores, tais como mudança temporária do limiar auditivo ou diminuição da resposta às emissões otoacústicas.^{2,7,8} A doença retrococlear é um dano biológico

esperado, devido à exposição ao RF-EMF. No entanto, o teste de emissões otoacústicas é usado para avaliar a cóclea. Portanto, para avaliar os efeitos do RF-EMF no sistema auditivo, a área retrococlear deve ser investigada com testes e para demonstrar danos biológicos, esses testes devem ser apoiados pelos achados histopatológicos.⁹

Neste estudo, nosso objetivo foi avaliar os efeitos do campo eletromagnético (EMF) na frequência de 2.100 MHz, similar à modulação do Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM – *Global System for Mobile Communication*), produzido por um gerador de EMF, sobre o sistema auditivo de ratos, com os métodos eletrofisiológico, histopatológico e imuno-histoquímico.

Método

Após aprovação pelo Comitê de Ética local para experimentação animal (n° 2014/50), o estudo foi feito de acordo com os princípios da regulamentação de pesquisa animal.

Animais

Foram incluídos no estudo 14 ratos albinos Wistar adultos saudáveis, do sexo masculino, com peso entre 250-280 g. Os ratos foram mantidos na unidade experimental animal com 12 h de luz e 12 h de escuridão a cada dia, a uma temperatura ambiente de $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade de 55-60%. Os animais consumiram alimentos de forma ilimitada e água da torneira, *ad libitum*. Em todas as fases do estudo, o meato acústico externo e a membrana timpânica dos ratos foram examinados otoscopicamente para excluir outros fatores que pudessem influenciar os resultados do teste, tais como sinais de infecção, perfuração da membrana timpânica ou cerume. Os ratos foram divididos em dois grupos. O grupo de RF-EMF foi submetido a ondas eletromagnéticas durante 30 dias; o grupo controle não foi exposto ao EMF.

Sistema de exposição ao RF-EMF

O grupo de RF-EMF foi exposto a um EMF contínuo, produzido por um gerador de EMF (Anritsu MG3670B, Japão) durante 30 dias. O gerador foi ajustado a um nível de sinal (potência) de 5,4 dBm (3,47 miliwatts) e uma frequência de 2.100 MHz para simular o modo de conversação em um telefone celular. O EMF foi gerado por meio de uma antena de haste longa, com 15 cm de comprimento, colocada abaixo da gaiola de plástico dos ratos e posicionada em paralelo ao eixo curto da gaiola. Os ratos podiam se mover livremente a uma distância máxima de 20 cm da antena, já que a exposição foi planejada em longo prazo e de forma contínua.

Medida da audiometria do tronco encefálico

O potencial evocado auditivo de tronco encefálico (Peate) dos ratos foi registrado sob anestesia com 45 mg/kg de cloridrato de cetamina (Ketalar®, Zentiva, Istambul, Turquia) e 5 mg/kg de cloridrato de xilazina, aplicados por via intraperitoneal em ambos os grupos. As gravações do Peate foram obtidas com estímulos do tipo click de 50 dB

nNA, aplicados com o uso de fones de inserção e eletrodos de agulha subcutâneos. Durante os testes, o eletrodo ativo foi colocado no vértice, o eletrodo de referência na mastoide ipsilateral e o eletrodo terra inserido na parte traseira dos ratos. Registramos 500 varreduras para cada teste e empregamos um filtro de 0,3-3,0 kHz. Todos os registros foram feitos com um analisador Eclipse EP25 (Interacoustics, Dinamarca). A latência da onda V e a latência interpicos das ondas I-V foram analisadas para ambas as orelhas.

Avaliação histopatológica e imuno-histoquímica

Os ratos foram sacrificados sob anestesia com cloridrato de cetamina após os registros do Peate e os tecidos cerebrais foram removidos completamente. Os tecidos foram fixados em solução recém-preparada de paraformaldeído a 4% e resfriada durante 24 h. Em seguida, os núcleos cocleares foram removidos e submetidos a uma mistura de 30% de sacarose e 0,1% de azida de sódio, até atingir a saturação de sacarose. Com o Criostato Leica CM1900 (Leica Microsystems GmbH, Viena, Áustria), cortes seriados de 4 μm de espessura foram fixados em lâminas revestidas com poli-L-lisina.

Os cortes foram corados com hematoxilina-eosina (HE) para avaliação histopatológica. Pelo menos cinco cortes de cada rato foram examinados com um microscópio Olympus BX51 foto (Olympus, Tóquio, Japão) para obter as imagens digitais. Sinais de degeneração, como a presença de neurônios vermelhos, vacuolização, degeneração celular, edema ou células picnóticas, foram pontuados separadamente por dois histopatologistas cegos para as informações dos grupos. Cada rato foi pontuado em uma escala de cinco pontos, de 0 a 4+, para sinais de degeneração.

Além da escala de degeneração, para avaliar a neurotoxicidade no nível celular, as células foram marcadas imuno-histoquimicamente, com o método *Terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP nick end labeling* (Tunel), que mostra quebras de DNA por meio da marcação das extremidades terminais dos ácidos nucleicos envolvidos nos processos de apoptose. Os cortes marcados com o método Tunel foram examinados com microscópio óptico. Com um fotomicroscópio, foram obtidas microfotografias digitais de pelo menos cinco áreas diferentes. A percentagem de células apoptóticas foi determinada pela contagem do total de células, sem distinção entre neurônios e células gliais. O índice apoptótico de cada rato para diferentes regiões foi calculado como o número total de células apoptóticas/100. O índice apoptótico médio de cada rato foi calculado pela média dos resultados obtidos.

Análise estatística

Os dados foram analisados com o programa SPSS versão 15.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). As latências do Peate foram comparadas com o teste de Mann-Whitney. Os sinais de degeneração foram comparados com o teste de qui-quadrado. Um valor de *p* inferior a 0,05 foi considerado uma diferença significativa.

Tabela 1 Escores de graduação para a degeneração nos grupos

	Escores de graduação para degeneração n (%)				
	0	1+	2+	3+	4+
Grupo Controle (n = 7)	6 (85,7)	1 (14,3)			
Grupo RF-EMF (n = 7)			1 (14,3)	4 (57,1)	2 (28,6%)

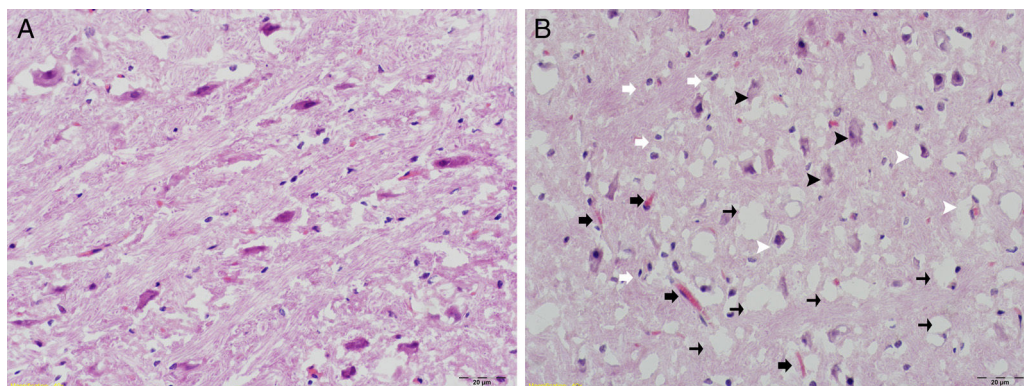


Figura 1 Exame histomorfológico com coloração H&E (40x); (A) Grupo Controle: integridade tecidual, a aparência geral de células é natural, sem mudanças no tamanho do neurônio. (B) Grupo RF-EMF: há degeneração de neurônios no núcleo coclear ventral, degradação (setas pretas), além de alguma diminuição no tamanho de neurônios, células picnóticas encolhidas (cabeças de setas brancas). Aumento do número de células gliais (setas brancas) e áreas com aumento da vascularização (setas pretas). Vacuolização intensa no tecido (setas pretas finas) e áreas edematosas.

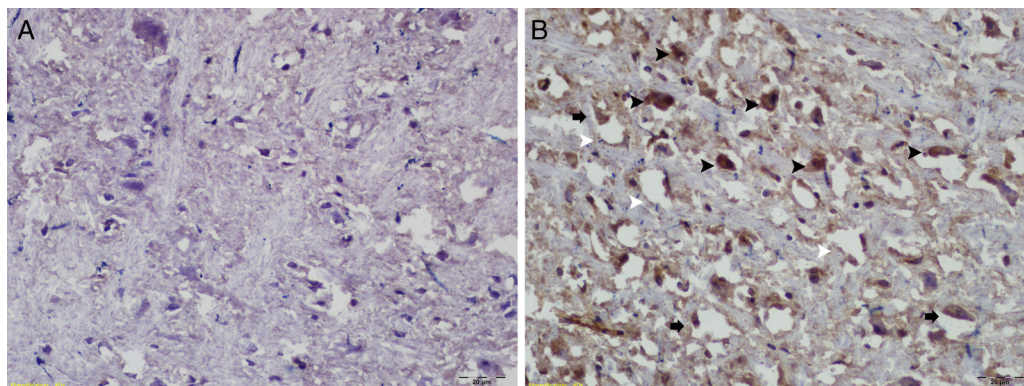


Figura 2 Resultados da coloração por TUNEL; (A) Grupo Controle; (B) Grupo de Estudo: células apoptóticas (cabeças de setas pretas), neurônios picnóticos (setas pretas), áreas vacuolizadas difusas (setas brancas).

Resultados

Resultados do Peate

A latência média medida da onda V no grupo controle foi de $4,54 \pm 0,29$ ms (4,00-4,93 ms), enquanto no grupo de estudo foi de $4,72 \pm 0,17$ ms (4,47-4,93 ms). Da mesma forma, a latência interpicos média entre as ondas I-V no grupo controle foi de $3,38 \pm 0,42$ ms (2,53-3,73 ms), enquanto no grupo de estudo foi de $3,69 \pm 0,20$ ms (3,47-4,06 ms). Comparado com o grupo controle, a latência média da onda V do grupo de estudo foi prolongada em 0,18 ms e a latência interpicos das ondas I-V foi de 0,31 ms. No entanto, essa extensão não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$).

Avaliação dos resultados histopatológicos e imuno-histoquímicos

Os achados do grau de degeneração histopatológica para ambos os grupos estão resumidos na [tabela 1](#). As pontuações de classificação para a degeneração foram significativamente maiores no grupo RF-EMF ($p = 0,007$). Além disso, foi observado o aumento do número de células gliais e vascularização no mesmo grupo ([fig. 1](#)).

As análises imuno-histoquímicas com o método TUNEL mostraram neurônios picnóticos, aumento de apoptose e áreas vacuoladas difusas no grupo RF-CEM ([fig. 2](#)).

Uma comparação dos índices apoptóticos dos grupos mostrou que o índice do grupo de estudo foi significativamente

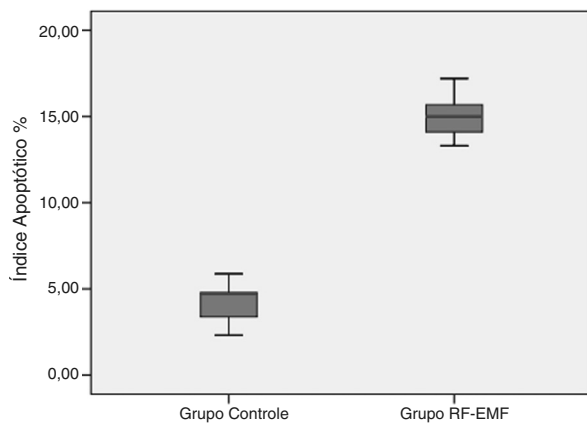


Figura 3 Gráfico do índice apoptótico para os grupos.

maior do que o do grupo controle. O índice apoptótico médio foi 14,78% no grupo RF-CEM e 4,17% no grupo controle (fig. 3).

Discussão

Este é o primeiro estudo que mostra os efeitos histopatológicos e eletrofisiológicos de um EMF na frequência de 2.100 MHz similar ao GSM no sistema auditivo. Em um estudo prévio feito em nosso centro, foi observada degeneração dos núcleos cocleares após exposição crônica ao EMF a 1.800 MHz.¹⁰ Com base em uma revisão da literatura e que seja do nosso conhecimento, nenhum outro estudo foi feito com um EMF na frequência de 2.100 MHz. Os resultados obtidos neste estudo mostram que, em ratos, a exposição crônica a um EMF a 2.100 MHz, similar ao sistema GSM, leva à degeneração celular nos núcleos cocleares, com aumento de apoptose e prolongamento estatisticamente insignificante de latências das ondas do Peate.

Com a rápida disseminação do uso de celulares em todo o mundo, os EMF gerados por esses dispositivos e pelas estações-base que conectam os aparelhos têm se tornado um dos principais problemas de saúde pública. Embora o RF-EMF seja aceito como um possível agente cancerígeno por grupos de trabalho internacionais, um relatório da Comissão Internacional para a Proteção à Radiação Não Ionizante (*Advisory Group on Non-ionizing Radiation* – AGNIR) enfatizou que nenhuma evidência convincente sobre a genotoxicidade e carcinogenicidade do RF-EMF foi revelada em diversos estudos.^{5,11} Sintomas temporários resultantes do aumento da duração do uso diário do celular, tais como dores de cabeça, falta de concentração, distúrbios do sono e aumento da temperatura ao redor da orelha, foram demonstrados em estudos anteriores.¹² No entanto, estudos transversais e estudos de caso-controle que avaliaram os efeitos em longo prazo do RF-EMF encontraram resultados distintos. Um ponto importante nesses estudos foi que, para determinar se a exposição ao RF-EMF resulta na ocorrência de tumores, tais como neuromas acústicos, o período de seguimento deve ser suficientemente longo.^{5,6} Os dados obtidos no presente estudo mostram que a exposição crônica ao RF-EMF pode causar degeneração nos núcleos cocleares de ratos. Em um estudo anterior feito em nosso centro, foi observado algum grau de degeneração nos núcleos

cocleares em ratos nas análises histopatológicas e imuno-histoquímicas após exposição crônica ao EMF a 1.800 MHz.¹⁰ Diferentemente do estudo anterior, no presente estudo, além de degeneração histopatológica, o aumento do índice de apoptose nos núcleos cocleares foi observado com o ensaio imuno-histoquímico Tunel. Acreditamos que esse aumento no índice de apoptose é um provável indicador dos efeitos genotóxicos e cancerígenos do RF-EMF. Considerando que o nosso sistema de exposição ao RF-EMF foi contínuo e de longo prazo, não se configurou uma simulação exata do uso diário do celular. Portanto, com base em nossos resultados, não se pode dizer que o RF-EMF gerado pelo uso do celular é genotóxico e carcinogênico para humanos.

Com o uso generalizado de telefones celulares, os primeiros estudos experimentais que avaliaram os efeitos da RF-EMF sobre o sistema auditivo usaram preferencialmente testes de emissões otoacústicas. Os resultados desses testes não foram estatisticamente significativos.^{13,14} A principal limitação desses estudos foi a incapacidade de avaliar os danos retrococleares, devido ao uso das emissões otoacústicas. Além disso, estudos de Peate foram feitos para avaliar os efeitos retrococleares esperados do RF-EMF em seres humanos. No entanto, não houve mudança em termos de latências das ondas.^{15,16} De acordo com os dados que obtivemos, os resultados do Peate do grupo de estudo identificaram latências mais prolongadas das ondas, em comparação com os do grupo controle, mas não foram estatisticamente significativos. Embora as análises histopatológicas e imuno-histoquímicas tenham mostrado degeneração significativa nos núcleos cocleares, esse fato não causou alongamento significativo da latência da onda do Peate. Esse achado pode ser atribuído a danos que não perturbaram a transmissão de estímulos nos núcleos cocleares. No entanto, a falta de alongamento significativo na latência de onda do Peate não indica que a transmissão esteja totalmente intacta.

Uma limitação deste estudo foi a falta de uma rígida padronização da exposição de ratos ao EMF em nosso sistema RF-EMF. Vários sistemas concebidos para exposição ao EMF têm sido descritos na literatura.¹⁷ No entanto, eles não são adequados para aplicação de EMF em longo prazo, o que foi necessário em nosso estudo. Considerando que o nosso regime de exposição ao EMF foi de longo prazo e contínuo, projetamos um sistema experimental no qual os ratos podiam mover-se livremente e fazer com facilidade atividades diárias, como comer e beber. No entanto, aos ratos não era permitida uma movimentação além de 20 cm de distância da antena do EMF.

Conclusão

Os dados obtidos neste estudo mostram que a exposição crônica ao RF-EMF provoca degeneração dos núcleos cocleares em ratos. Como resultado dessa degeneração, por meio de métodos imuno-histoquímicos, observou-se um aumento na taxa de apoptose em núcleos cocleares. No entanto, não houve alongamento eletrofisiológico estatisticamente significativo nas latências de onda do PEATE. Esses achados apoiam os possíveis efeitos genotóxicos e cancerígenos do RF-EMF.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Dabholkar YG, Pusalkar AG, Velankar HK. Effects of cell phone EMF radiations on the auditory system – a review. *IJHSR*. 2016;6:506–15.
2. Kayabasoglu G, Sezen OS, Eraslan G, Aydin E, Coskuner T, Unver S. Effect of chronic exposure to cellular telephone electromagnetic fields on hearing in rats. *J Laryngol Otol*. 2011;125:348–53.
3. Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol*. 2011;12:624–6.
4. Aydogan F, Aydin E, Koca G, Ozgur E, Atilla P, Tuzuner A, et al. The effects of 2.100-MHz radiofrequency radiation on nasal mucosa and mucociliary clearance in rats. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2015;5:626–32.
5. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Re-analysis of risk for glioma in relation to mobile telephone use: comparison with the results of the Interphone international case-control study. *Int J Epidemiol*. 2011;40:1126–8.
6. Interphone Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the Interphone international case – control study. *Cancer Epidemiol*. 2011;35:453–64.
7. Alsanosi AA, Al-Momani MO, Hagr AA, Almomani FM, Shami IM, Al-Habeeb SF. The acute auditory effects of exposure for 60 minutes to mobile's electromagnetic field. *Saudi Med J*. 2013;34:142–6.
8. Budak GG, Muluk NB, Budak B, Ozturk GG, Apan A, Seyhan N. Effects of intrauterine and extrauterine exposure to GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in infant male rabbits. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2009;73:391–9.
9. Kaprana AE, Karatzanis AD, Prokopakis EP, Panagiotaki IE, Vardiambasis IO, Adamidis G, et al. Studying the effects of mobile phone use on the auditory system and the central nervous system: a review of the literature and future directions. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2008;265:1011–9.
10. Ozgur A, Tumkaya L, Terzi S, Kalkan Y, Erdivanli OC, Dursun E. Effects of chronic exposure to electromagnetic waves on the auditory system. *Acta Otolaryngol*. 2015;135:765–70.
11. AGNIR. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields: report of an independent Advisory Group of Non-Ionising Radiation; 2012 https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333080/RCE-20_Health_Effects_RF_Electromagnetic_fields.pdf
12. Khan MM. Adverse effects of excessive mobile phone use. *Int J Occup Med Environ Health*. 2008;21:289–93.
13. Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioğlu MT, Oncel S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol*. 2002;122:289–93.
14. Parazzini M, Bell S, Thuroczy G, Molnar F, Tognola G, Lutman ME, et al. Influence on the mechanisms of generation of distortion product otoacoustic emissions of mobile phone exposure. *Hear Res*. 2005;208:68–78.
15. Oysu C, Topak M, Celik O, Yilmaz HB, Sahin AA. Effects of the acute exposure to the electromagnetic field of mobile phones on human auditory brainstem responses. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2005;262:839–43.
16. Bak M, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, Dudarewicz A. No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int J Occup Med Environ Health*. 2003;16:201–8.
17. Lopresto V, Pinto R, De Vita A, Mancini S, Galloni P, Marino C, et al. Exposure setup to study potential adverse effects at GSM 1800 and UMTS frequencies on the auditory systems of rats. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007;123:473–82.