



Effect of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMFS) from mobile phones on nickel release from orthodontic brackets: An *in vitro* study

Effets des champs électromagnétiques de radiofréquences (CEM-RF) des téléphones mobiles sur la libération du nickel des attaches orthodontiques : étude *in vitro*

Seyed Mohammad Javad Mortazavi^{a,b}, Maryam Paknahad^{c,*}, Iman Khaleghi^d, Mahsa Eghlidospour^b

^aBiophotonics Lab, Department of Electrical Engineering, University of Wisconsin Milwaukee, 3200 N Cramer Street, WI 53211 Milwaukee, USA

^bIonizing and Non-ionizing Radiation protection Research Center (INIRpRC), Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

^cOral and Dental Disease Research Center, Oral and Maxillofacial Radiology Department, School of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

^dStudent Research Committee, School of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

Available online: 12 July 2018 / Disponible en ligne : 12 juillet 2018

Summary

Background: The worldwide dramatic increase in the use of cell phones has generated great concerns about their potential adverse health effects.

Objective: The aim of the present study was to evaluate the effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMFs) emitted from mobile phones on the level of nickel release from orthodontic brackets.

Methods: Twenty stainless steel brackets were divided randomly into experimental and control groups ($n = 10$). Brackets were immersed in artificial saliva at 37 °C for 6 months. Experimental group were exposed to GSM 900 MHz RF-EMFs emitted from a mobile phone simulator for 4 hours. The specific absorption rate (SAR) was 2.287 W/kg. The

Résumé

Contexte : L'utilisation mondiale croissante de téléphones portables a soulevé de grandes inquiétudes quant à leurs potentiels effets indésirables sur la santé.

Objectif : Le but de cette étude était d'évaluer les effets des champs électromagnétiques de radiofréquences (CEM-RF) émis par les téléphones mobiles sur les taux de nickel libérés à partir d'attaches orthodontiques.

Méthodes : Vingt attaches en acier inoxydable ont été réparties au hasard en deux groupes : un groupe exposé aux CEM-RF (E, $n = 10$) et un groupe contrôle (C, $n = 10$). Les attaches ont été immergées dans de la salive artificielle à 37 °C durant 6 mois. Les attaches du groupe expérimental ont été exposées à des CEM-RF de 900 MHz émis à partir

* Correspondence and reprints / Correspondance et tirés à part :

Maryam Paknahad, Oral and Maxillofacial Radiology Department, Shiraz Dental School, Ghasrodasht Street, 7144833586 Shiraz, Iran.

e-mail address / Adresse e-mail : paknahadmaryam@yahoo.com (Maryam Paknahad)

concentration of nickel in the artificial saliva in both groups was evaluated by using the cold-vapour atomic absorption spectrometry. The Mann-Whitney test was used to assess significant differences in nickel release between the exposed and non-exposed groups.

Results: The mean nickel levels in the exposed and non-exposed groups were 11.95 and 2.89 $\mu\text{g/L}$, respectively. This difference between the concentrations of nickel in the artificial saliva of these groups was statistically significant ($P = 0.001$).

Conclusion: Exposure to RF-EMFs emitted from mobile phones can lead to human exposure to higher levels of nickel in saliva in patients with orthodontic appliances. As nickel exposure can lead to allergic reaction in humans and considering this point that about 10–20% of the population can be hypersensitive to nickel, further studies are needed to evaluate the effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMFs) emitted from common devices such as mobile phones or Wi-Fi routers on the level of nickel release from orthodontic brackets.

© 2018 CEO. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved

Key-words

- Nickel.
- Orthodontic bracket.
- Mobile phone.
- Electromagnetic radiation.

Introduction

Nickel is one of the most frequent components of orthodontic appliances that gives stainless steel alloys the ductility, cervical corrosion resistance and firmness [1,2]. Nickel can induce cytotoxicity, contact dermatitis, hypersensitivity, DNA breaks in oral mucosal cells, burning sensation in the oesophagus and birth defects [3,4]. These problems come from the fact that the union between nickel and intermetallic compounds is weak causing nickel releases from appliance surfaces [5]. It causes allergic reactions more than all other metals and Nickel is known as the most common cause of toxicity from orthodontic devices [6]. The hypersensitive reaction rate to nickel has been reported to be approximately 20–30% of population with a proportion of 1 to 10 males to females [7]. Nickel compounds even at nontoxic concentrations, act as mutagens and carcinogenic substances according to the International Agency for Research on Cancer (IARC) [8].

The worldwide dramatic increase in the use of cell phones has generated great concerns about its potential adverse health

d'un simulateur de téléphone mobile GSM pendant 4 heures. Le taux d'absorption spécifique (DAS) était de 2,287 Watt/kg (W/kg). La concentration de nickel retrouvée dans la salive artificielle de chacun des groupes a été évaluée à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique en vapeur froide. Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour évaluer les différences significatives de libération de nickel observées entre les groupes E et C.

Résultats : Les taux moyens de nickel salivaire dans les groupes E et T étaient de 11,95 et 2,89 $\mu\text{g/L}$, respectivement, avec une différence statistiquement significative ($p = 0,001$).

Conclusion : L'exposition aux ondes radiofréquences des téléphones mobiles peut conduire chez les patients porteurs d'appareillages orthodontiques, à une exposition à des taux salivaires de nickel plus élevés. Sachant qu'une exposition au nickel peut entraîner des réactions allergiques chez l'homme, et qu'environ 10–20 % de la population peut être hypersensible au nickel, d'autres études s'imposent pour évaluer les effets des CEM-RF émis à partir d'appareils aussi communs que des téléphones portables ou des routeurs Wi-Fi, sur le taux de nickel libéré à partir d'attaches orthodontiques.

© 2018 CEO. Édité par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Mots-clés

- Nickel.
- Attache orthodontique.
- Téléphone mobile.
- Onde électromagnétique.

Introduction

Le nickel est l'un des composants majeurs des appareillages orthodontiques et confère aux alliages en acier inoxydable leurs propriétés de ductilité, de résistance à la corrosion cervicale et de solidité [1–3]. Le nickel peut induire cytotoxicité, dermatite de contact, hypersensibilité, altération de l'ADN cellulaire de la muqueuse buccale, sensation de brûlure œsophagienne et malformations congénitales. Ces problèmes viennent du fait que l'union entre le nickel et les composés intermétalliques est faible, entraînant ainsi des relargages de nickel à partir de la surface des appareillages [4,5]. Cela entraîne des réactions allergiques plus importantes qu'avec d'autres métaux et le nickel est connu comme étant l'agent de toxicité le plus courant en provenance des appareillages orthodontiques [6]. Il a été établi que le taux de réaction d'hypersensibilité au nickel concerne environ 20–30 % de la population avec un rapport de 1 homme pour 10 femmes [7]. Les composants du nickel, même à des concentrations non toxiques, agissent comme des mutagènes et des substances cancérigènes d'après le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) [8].

La très forte progression de l'utilisation dans le monde des téléphones portables a soulevé de grandes inquiétudes quant

Table I

Chemical composition of artificial saliva.

Constituent / <i>Constituant</i>	Quantity (mEq/l) / <i>Quantité (mEq/L)</i>
Sodium carboxy methylcellulose / <i>Carboxyméthylcellulose de sodium</i>	10
Potassium chloride / <i>Chlorure de potassium</i>	1.2
Sodium chloride / <i>Chlorure de sodium</i>	0.87
Magnesium chloride / <i>Chlorure de magnésium</i>	0.05
Calcium chloride / <i>Chlorure de calcium</i>	0.13
Di-potassium hydrogen orthophosphate / <i>Hydrogène-orthophosphate dipotassique</i>	0.12

effects [9]. The effect of corrosion of orthodontic appliances on the health of patients has been reviewed previously [3]. However, to the best of our knowledge, there are only few studies evaluating the effect of RF-EMFs generated by mobile phones on the level of nickel release from orthodontic appliances [10,11]. The purpose of the present study was to assess the effect of exposure to RF-EMFs of mobile phones on the level of nickel release from orthodontic brackets in artificial saliva.

Materials and methods

Twenty-first molar stainless steel brackets (.022", 3M Unitek, Monrovia, California, USA) were selected for the present

Tableau I

Composition de la salive artificielle.

à ses effets négatifs potentiels sur la santé [9]. Les effets de la corrosion des appareillages orthodontiques sur la santé des patients ont déjà fait l'objet d'une revue [3]. Cependant, à notre connaissance, il n'existe que très peu d'études ayant analysé les effets des CEM-RF générés par les téléphones mobiles sur le taux de nickel libéré à partir d'appareillages orthodontiques [10,11]. Le but de cette étude *in vitro* était d'évaluer les effets d'une exposition aux CEM-RF émis par les téléphones mobiles sur les taux de nickel libérés à partir d'attaches orthodontiques placées dans de la salive artificielle.

Matériels et méthodes

Vingt attaches première molaire en acier inoxydable (0,022", 3M Unitek, Monrovia, California, États-Unis) ont été

Table II

The characteristics of mobile phone simulator used in this study.

Parameters / <i>Paramètres</i>	Values / <i>Valeurs</i>
Frequency bands / <i>Bandes de fréquence</i>	959.1 MHz – 935.1
Bandwidth / <i>Bande passante</i>	200 KHz
Channel / <i>Canal</i>	124
Modulation	GMSK
Data rate / <i>Débit de données</i>	270.833 (kbps)
Bit duration / <i>Durée de Bit</i>	$\frac{1}{270.833k} = 3.69 \mu s$
Packet duration / <i>Durée de paquet</i>	577 μs
No. of bits per packet / <i>Nombre de bits par paquet</i>	$\frac{577\mu}{3.69\mu} = 156.25$
Packet repetition / <i>Répétition du paquet</i>	20 ms
Packet type / <i>Type de paquet</i>	Normal frequency correction synchronization random access / <i>Normal correction de paquet synchronisation accès aléatoire</i>

Tableau II

Caractéristiques du simulateur de téléphone mobile utilisé dans cette étude.

study. Each bracket was incubated in an oven set at a constant temperature of 37 °C in a plastic-capped vial containing 15 ml artificial saliva for 6 months. The artificial saliva was used as the immersion electrolyte. The chemical composition of the artificial saliva is summarized in [Table I](#). After this period, the brackets were randomly divided into two groups containing 10 teeth each. The control group (C) was stored in an EMF-free environment. The specimens in the exposure group (E) were exposed to a RF-EMFs emitted from a GSM mobile phone simulator (designed and produced at the School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University in collaboration with the Centre for Research in Radiation Sciences, Shiraz University of Medical Sciences) for 240 min. The specific absorption rate (SAR) in brackets was 2.287 W/kg. The characteristics of the mobile phone simulator are presented in [Table II](#). The concentration of nickel in immersion solution was evaluated using atomic absorption spectrometer (Perkin Elmer 5100).

The data obtained in this study were statistically analysed using SPSS version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). The Mann-Whitney test was used to compare the level of nickel release in the exposure and control groups to identify any statistically significant differences. *P*-values less than 0.05 were considered significant.

Results

The nickel ion concentrations ($\mu\text{g/lit}$) in the two groups are presented in [Table III](#). The mean salivary nickel concentrations in the exposure and control groups were 11.95 and 2.89 $\mu\text{g/L}$, respectively. The concentration of nickel in the artificial saliva in the exposure group was significantly higher than that of the control group ($P = 0.001$).

Table III

The Metal ion concentrations ($\mu\text{g/l}$) of the nickel release in the two groups: mean, standard deviation, minimum and maximum.

Mean $\pm$ SD Salivary Nickel Concentration (range: min–max) / Moy $\pm$ ET Concentration salivaire du Nickel (intervalle : min–max)		Significance (<i>P</i> -value) / Significativité (valeur de <i>p</i>)
Control group C / Groupe C Contrôle	Exposed Group Mobile phone / Groupe E Mobile phone	
2.89 $\pm$ 1.21 (0.50–4.50)	11.95 $\pm$ 1.12 (8.40–14.40)	0.001

sélectionnées pour notre étude. Chaque attache a été incubée dans un four réglé à une température constante de 37 °C, puis placée dans une fiole en plastique contenant 15 mL de salive artificielle durant 6 mois. La salive artificielle a été utilisée comme solution électrolytique de base. La composition chimique de la salive artificielle est résumée dans le [Tableau I](#). Après cette période, les attaches ont été réparties au hasard en deux groupes de 10 attaches. Le groupe contrôle (C) a été conservé dans un environnement sans CEM-RF. Le groupe expérimental (E) est exposé aux CEM-RF émis par un simulateur de téléphone mobile GSM (conçu et fabriqué à l'École de génie électrique et d'informatique de l'université Shiraz en collaboration avec le Centre de recherche en sciences des radiations, université Shiraz de sciences médicales) durant 240 min. Le taux d'absorption spécifique (DAS) des attaches était de 2,287 W/kg. Les caractéristiques du simulateur de téléphone sont présentées dans le [Tableau II](#). La concentration en nickel dans la solution d'immersion a été évaluée à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (Perkin Elmer 5100).

Les données obtenues dans cette étude ont été analysées statistiquement à l'aide de la version SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les taux de nickel libérés dans les groupes E et C, pour identifier toute différence statistiquement significative. Les valeurs *p* inférieures à 0,05 étaient considérées comme significatives.

Résultats

Les concentrations en ions nickel ($\mu\text{g/lit}$) dans les deux groupes sont présentées dans le [Tableau III](#). Les concentrations moyennes de nickel salivaire dans les groupes E et C sont de 11,95 et 2,89 $\mu\text{g/L}$, respectivement. La concentration en nickel dans la salive artificielle du groupe exposé est significativement plus élevée que celle du groupe contrôle ($p = 0,001$).

Tableau III

Concentration de l'ion métal ($\mu\text{g/l}$) Nickel relargué dans les 2 groupes : moyenne, standard déviation, minimum and maximum.

Discussion

Findings of this study showed a statistically significant difference between the mean nickel levels in the exposed and non-exposed groups. It was shown that exposure to RF-EMF had led to statistically significant increased release of nickel from orthodontic brackets (11.95 $\mu\text{g/l}$ vs. 2.89 $\mu\text{g/l}$, in exposed and non-exposed groups, respectively). There are only small studies in the literature regarding the effect of RF-EMFs emitted from mobile phones on the release of nickel from orthodontic brackets [10,11]. Saghir et al. have recently shown significantly higher concentrations of nickel ions in patients who used mobile phones compared to that of the control group [10]. They also showed that the effect of mobile phone RF-EMFs on the level of nickel released from orthodontic brackets had a time-dependent pattern. These researchers have attributed their findings to alteration in physical characteristics of saliva such as increasing in flow rate and hence decreasing the concentration of some components in saliva and decreasing the level of pH of the saliva [11], which may increase the corrosion rate of orthodontic appliances which accelerates the nickel release from orthodontic appliances. They also believed that the increase in temperature generated by exposure to radiation emitted from mobile phones might be responsible for these findings [10].

It is worth mentioning that several studies on the accelerated release of heavy metals from dental fillings have been conducted [9,12,13]. Some after exposure to various sources of electromagnetic fields (EMF) such as mobile phones and magnetic resonance imaging (MRI) [9]. Others had not controlled the exposure to other widely used sources of EMFs (e.g. Wi-Fi, mobile base stations, cordless phones) as a significant confounding factor in their studies [12,13]. But they had the advantage of being in vivo studies.

The present study was an in vitro experiment and we analysed the nickel release in a static condition. We know well that the “in vitro” investigations cannot reflect the variable and highly complex conditions of the dynamic environment of the oral cavity, which can lead to corrosion of orthodontic appliances [14]. The saliva has a dynamic composition that could be influenced by various factors including diet, health conditions, its flow rate and salivary pH [15–17]. In “in vitro” studies, the level of nickel ion released was dependent on the manipulation of the appliances, the composition and the method of manufacturing of appliances and the physical and chemical characteristics of the experiment [18–20]. In clinical situations, the mechanical activation of the orthodontic appliances and removal of oxide protective layer by several mechanical and chemical factors such as tooth brushing and mastication accelerate the degradation process and enhance the metal release [16,18,21]. Therefore, the results of the

Discussion

Les résultats de cette étude montrent une différence statistiquement significative entre les taux moyens de nickel observés dans les groupes exposé et contrôle. Donc l'exposition aux CEM-RF a entraîné une plus grande libération de nickel à partir des attaches orthodontiques dans le groupe exposé que dans le groupe témoin, statistiquement significative (11,95 $\mu\text{g/L}$ vs 2,89 $\mu\text{g/L}$). Il n'existe que peu d'études dans la littérature concernant les effets des CEM-RF émis par des téléphones mobiles sur la libération de nickel à partir des attaches orthodontiques [10,11]. Saghir et al. ont récemment montré des concentrations en ions nickel significativement plus importantes chez des patients qui utilisaient des téléphones mobiles comparés à ceux du groupe témoin [10]. Ils ont également montré que les effets des CEM-RF provenant d'un téléphone mobile sur le taux de nickel libéré à partir des attaches orthodontiques dépendaient du temps. Ces chercheurs ont attribué leurs résultats à une altération des caractéristiques physiques de la salive, comme une augmentation de son débit, diluant ainsi sa concentration en certains composants et une diminution du pH salivaire [11], ce qui peut augmenter le taux de corrosion des appareillages orthodontiques et accélérer ainsi la libération de nickel à partir des appareillages orthodontiques. Ils ont également pensé que l'augmentation de température générée par l'exposition aux rayonnements émis par les téléphones mobiles pouvait expliquer ces résultats [10].

Il convient de noter que plusieurs études portant sur la libération accélérée de métaux lourds à partir d'obturations dentaires ont été menées à ce jour [9,12,13]. Certaines tiennent compte de l'exposition à différentes sources de champs électromagnétiques (CEM), tels que les téléphones mobiles et l'imagerie par résonance magnétique (IRM) [9]. D'autres, ne tiennent pas compte de l'exposition à d'autres sources de CEM-RF, largement utilisées, comme facteurs de confusion (ex. Wi-Fi, antennes émettrices, téléphones sans fil) [12,13]. Mais elles ont le mérite d'être des études « in vivo ».

Notre étude est une expérimentation « in vitro » et nous avons analysé la libération de nickel dans des conditions statiques. Nous savons bien que les recherches effectuées « in vitro » ne peuvent pas refléter les conditions variables et hautement complexes de l'environnement dynamique de la cavité buccale pouvant conduire à la corrosion des appareillages orthodontiques [14]. La salive a une composition dynamique qui peut être influencée par différents facteurs tels que l'alimentation, l'état de santé, le débit et le pH salivaire [15–17]. Dans les études « in vitro », le taux d'ions nickel libérés dépend de la manipulation des appareils, de la composition et des méthodes de fabrication des appareils, ainsi que des caractéristiques physiques et chimiques de l'expérimentation [18–20]. En situation clinique, l'activation mécanique des appareillages orthodontiques et l'élimination de la couche d'oxyde protectrice par plusieurs facteurs mécaniques et chimiques (tels que le brossage des dents et la mastication),

present study are less likely relevant to the clinical settings. On the other hand, standardization of the experimental factors is difficult in "in vivo" studies due to the biologic variations of patients and inter-individual variability [14]. The individual variation in the level of nickel in freshly secreted saliva depends on variation of nickel content in food, tobacco, smoking, air and water [22]. Moreover, other variables such as sampling time, health conditions and salivary flow rate affect the level of nickel in saliva [15,17,23]. Therefore, standardization of all these variables is a basic problem in *in vivo* studies. In this light, we preferred to use artificial saliva to control these confounding variables.

It has been suggested that the release of metal ions from orthodontic appliances is through emission of electro galvanic currents and the saliva acts as a medium for continuous erosion of orthodontic appliances [1,24,25]. Previous studies used 0.05% or 0.9% saline solution or artificial saliva with different compositions [26]. It has been shown that the concentration of corrosion products of orthodontic appliances released in artificial saliva can be 5–7 times higher than that of saline solutions [20,27]. Therefore, in the present study, artificial saliva was used to measure the level of nickel released from brackets. The surface area is another variable that affect the corrosion of nickel [20]. In this study, we did not use bonding material on the bracket bases. Hence, the exposed surface was nearly twice larger than that of clinical situations, which the base of brackets is covered with adhesive materials [15,28].

In our study, the total level of nickel release was less than what is reported by Danaei et al. [29]. This difference can be due to various factors such as the variations in immersion solution, the method of storage, the duration and finally the composition of brackets used in these two studies. The resistance of brackets against corrosion depends on factors such as the process of manufacturing, alloy type and the properties of the surface of these devices. Furthermore, the difference in the method of storage (static or dynamic) can play an important role in the measured levels of nickel.

Although, the level of nickel released in the artificial saliva was far below the toxic level and the recommended dietary intake, even these low concentrations might be sufficient to induce biologic toxicity, inflammation and DNA alteration in the oral cavity and hence change cellular metabolism and morphology; especially in high risk patients such as patients with history of hypersensitivity when the appliances are in the mouth for 2 to 3 years [22,30–33]. Furthermore, in this study, the nickel released from each bracket in a single vial was

accélérent le processus de dégradation et favorisent la libération d'ions métalliques [15,18,21]. Par conséquent, les résultats de notre étude sont sans doute moins pertinents que ceux d'une situation clinique. D'un autre côté, la standardisation des facteurs expérimentaux est difficile à réaliser dans les études « *in vivo* » en raison des variations biologiques des patients et de la variabilité interindividuelle [14]. La variation individuelle du taux de nickel observé dans de la salive fraîchement secrétée dépend de la variation du contenu en nickel de l'alimentation, de la consommation de tabac, (suppression de la répétition), de l'air et de l'eau [22]. Par ailleurs, d'autres variables telles que le temps d'échantillonnage, l'état de santé et le débit salivaire influencent le taux de nickel intrasalaire [14,17,23]. Par conséquent, la standardisation de toutes ces variables est un vrai problème dans les études *in vivo*. Dans cet esprit, nous avons préféré utiliser de la salive artificielle pour contrôler ces variables de confusion.

Il a été suggéré que le relargage d'ions métalliques à partir d'appareillages orthodontiques se faisait par l'émission de courants électro galvaniques, et que la salive induit une érosion continue pour les appareillages orthodontiques [1,24,25]. De précédentes études ont utilisé du sérum physiologique à 0,05 % ou 0,9 % ou de la salive artificielle avec des compositions différentes [26]. Il a été démontré que la concentration en produits de corrosion provenant des appareils orthodontiques et libérés dans la salive artificielle pouvait être 5 à 7 fois supérieure à celle des solutions de sérum physiologique [20,27]. C'est pourquoi, dans notre étude, nous avons utilisé de la salive artificielle pour mesurer le taux de nickel libéré à partir des attaches. La surface est une autre variable qui influence la corrosion du nickel [20]. Dans cette étude, nous n'avons pas utilisé de matériau de collage sur la base des attaches. Ainsi, la surface exposée était presque deux fois plus étendue que celle d'une situation clinique dans laquelle la base des attaches est recouverte de matériaux adhésifs [15,28].

Le taux total de nickel libéré était inférieur à celui rapporté par Danaei et al. [29]. Cette différence peut être due à différents facteurs tels que les variations inhérentes à la solution d'immersion, la méthode de conservation, la durée et enfin, la composition des attaches utilisées dans ces deux études. La résistance des attaches à la corrosion dépend de facteurs tels que le procédé de fabrication, le type d'alliage et les propriétés de surface de ces appareils. Par ailleurs, la différence dans la méthode de conservation (statique ou dynamique) peut jouer un rôle important dans les taux de nickel mesurés.

Bien que le taux de nickel libéré dans la salive artificielle ait été très inférieur au taux de toxicité et à l'ingestion alimentaire recommandée, il pourrait suffire à induire une toxicité biologique, une inflammation et des altérations de l'ADN au niveau de la cavité buccale, modifiant ainsi le métabolisme et la morphologie cellulaire ; en particulier chez les patients à haut risque présentant des antécédents d'hypersensibilité et lorsque les appareillages sont en bouche depuis deux ou trois ans [22,30–33]. De plus, dans cette étude, le nickel

measured and reported. Therefore, in clinical condition, on the basis of a minimum of 20 brackets in patients' mouth, the nickel concentrations can be significantly higher than those reported in this study. In this light, extrapolation of the findings of this study to real clinical situations is potentially irrelevant.

One of the limitations of the present study was the short sampling period (6 months). This duration is approximately 4 times shorter than the usual duration of orthodontic treatment [5]. Many previous studies also assessed the nickel released from orthodontic appliances over a short period of time (1–3 months) [2]. Eliades et al. [34] and Huang et al. [20] believed that such a short time is not sufficient to effectively evaluate the nickel release. Evaluation of the nickel release for such a short time was not realistic for the assessment of biocompatibility of orthodontic appliances that remain in the mouth for an average period of 2 to 3 years.

Conclusions

Exposure to RF-EMFs emitted from mobile phones can lead to increased levels of nickel in saliva in patients with orthodontic appliances. Although the level of the nickel released was far below the toxic level to cause concern in healthy people, it might cause toxicity in high-risk patients. As nickel exposure can lead to allergic reaction in humans and considering this point that about 10–20% of the population can be hypersensitive to nickel, further studies are needed to evaluate the effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMFs) emitted from common devices such as mobile phones or Wi-Fi routers on the level of nickel release from orthodontic brackets.

Acknowledgments

The authors thank the Vice-Chancellory of Research Shiraz University of Medical Science for supporting this research (Grant #10039). The authors thank Dr. Vossoughi of the Dental Research Development Center, of the School of Dentistry for the statistical analysis also Center for Development of Clinical Research of Nemazee Hospital and Dr. Nasrin Shokrpour for editorial assistance.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

mesuré et rapporté est celui libéré à partir de chaque attache, dans une seule fiole. Par conséquent, dans des conditions cliniques, en se basant sur un minimum de 20 attaches dans la bouche des patients, les concentrations peuvent être significativement plus élevées que celles rapportées dans cette étude. Ainsi, l'extrapolation des résultats de cette étude à de réelles situations cliniques est potentiellement non pertinente.

Une des limites de cette étude est la période d'échantillonnage courte (6 mois). Cette durée est environ 4 fois plus courte que la durée habituelle d'un traitement orthodontique [5]. De nombreuses études précédentes ont également évalué la libération de nickel à partir des appareillages orthodontiques sur une courte durée (1–3 mois) [2]. Eliades et al. [34] et Huang et al. [21] pensaient qu'une durée aussi courte n'était pas suffisante pour évaluer la libération de nickel de façon efficace. L'évaluation de la libération de nickel durant une période aussi courte n'était pas suffisamment réaliste pour évaluer la biocompatibilité des appareils orthodontiques qui restent en bouche en moyenne pendant deux ou trois ans.

Conclusions

L'exposition aux CEM-RF émis par les téléphones mobiles peut augmenter le taux de nickel dans la salive des patients porteurs d'appareils orthodontiques. Bien que le taux de nickel libéré ait été très inférieur à la dose toxique pour causer des problèmes chez des personnes en bonne santé, il pourrait néanmoins être néfaste chez des patients fortement prédisposés. Etant donné qu'une exposition au nickel peut entraîner des réactions allergiques chez l'homme, et considérant qu'environ 10 à 20 % de la population peut s'avérer hypersensible au nickel, d'autres études sont nécessaires pour évaluer les effets des champs de radiofréquences électromagnétiques (CEM-RF) émis par des appareils courants, tels que des téléphones mobiles ou des routeurs Wi-Fi, sur le taux de nickel libéré à partir d'attaches orthodontiques.

Remerciements

Les auteurs remercient le vice-président de la recherche de l'université de sciences médicales de l'université de Shiraz (subvention #10039). Les auteurs remercient le Dr Vossoughi du centre de développement de la recherche clinique de la faculté d'odontologie et de l'hôpital de Nemazee, et le Dr Nasrin Shokrpour pour l'assistance à la rédaction.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

References/Références

1. Amini F, Borzabadi Farahani A, Jafari A, Rabbani M. In vivo study of metal content of oral mucosa cells in patients with and without fixed orthodontic appliances. *Orthod Craniofac Res* 2008;11:51–6.
2. Sahoo N, Kailasam V, Padmanabhan S, Chitharanjan AB. In-vivo evaluation of salivary nickel and chromium levels in conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:340–5.
3. House K, Sernetz F, Dymock D, Sandy JR, Ireland AJ. Corrosion of orthodontic appliances—should we care? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:584–92.
4. Oh KT, Kim KN. Ion release and cytotoxicity of stainless steel wires. *Eur J Orthod* 2005;27:533–40.
5. Eliades T, Athanasiou AE. In vivo aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. *Angle Orthod* 2002;72:222–37.
6. Ortiz AJ, Fernández E, Vicente A, Calvo JL, Ortiz C. Metallic ions released from stainless steel, nickel-free, and titanium orthodontic alloys: toxicity and DNA damage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:e115–22.
7. Peltonen L. Nickel sensitivity in the general population. *Contact Dermatitis* 1979;5:27–32.
8. World Health Organization International Agency for Research on cancer Chromium, nickel and welding. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 1990;49:1–648.
9. Mortazavi SM, Daiee E, Yazdi A, et al. Mercury release from dental amalgam restorations after magnetic resonance imaging and following mobile phone use. *Pak J Biol Sci* 2008;11:1142–6.
10. Saghiri MA, Orangi J, Asatourian A, Mehriar P, Sheibani N. Effect of mobile phone use on metal ion release from fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147:719–24.
11. Nanjannawar LG, Girme TS, Agrawal JM, et al. Effect of mobile phone usage on nickel ions release and pH of saliva in patients undergoing fixed orthodontic treatment. *J Clin Diagn Res* 2017;11:84–7.
12. Saghiri MA, Asatourian A, Haraji A, et al. The influence of endodontic broken stainless steel instruments on the urinary levels of iron. *Biol Trace Elem Res* 2014;158:330–3.
13. Saghiri MA, Sheibani N, Garcia-Godoy F, Asatourian A, Mehriar P, Scarbecz M. Correlation between endodontic broken instrument and nickel level in urine. *Biol Trace Elem Res* 2013;155:114–8.
14. Mikulewicz M, Wołowicz P, Janeczek M, Gedrange T, Chojnacka K. The release of metal ions from orthodontic appliances animal tests. *Angle Orthod* 2014;84:673–9.
15. Hwang C-J, Shin J-S, Cha J-Y. Metal release from simulated fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:383–91.
16. Mikulewicz M, Chojnacka K. Release of metal ions from orthodontic appliances by in vitro studies: a systematic literature review. *Biol Trace Elem Res* 2011;139:241–56.
17. Dawes C. The effects of flow rate and duration of stimulation on the concentrations of protein and the main electrolytes in human submandibular saliva. *Arch Oral Biol* 1974;19:887–95.
18. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Maffia E, Scribante A, Alberti G, Biesuz R, et al. Nickel release from new conventional stainless steel, recycled, and nickel-free orthodontic brackets: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:809–15.
19. Matasa CG. Attachment corrosion and its testing. *J Clin Orthod* 1995;2:16–23.
20. Kerosuo H, Moe G, Kleven E. In vitro release of nickel and chromium from different types of simulated orthodontic appliances. *Angle Orthod* 1995;65:111–6.
21. Huang T-H, Yen C-C, Kao C-T. Comparison of ion release from new and recycled orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:68–75.
22. Natarajan M, Padmanabhan S, Chitharanjan A, Narasimhan M. Evaluation of the genotoxic effects of fixed appliances on oral mucosal cells and the relationship to nickel and chromium concentrations: an in-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:383–8.

23. Ferguson D. Current diagnostic uses of saliva. *J Dent Res* 1987;66:420–4.
24. Fors R, Persson M. Nickel in dental plaque and saliva in patients with and without orthodontic appliances. *Eur J Orthod* 2006;28:292–7.
25. Ağaoğlu G, Arun T, İzgü B, Yarat A. Nickel and chromium levels in the saliva and serum of patients with fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2001;71:375–9.
26. Matos de Souza R, Macedo de Menezes L. Nickel, chromium and iron levels in the saliva of patients with simulated fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2008;78:345–50.
27. Brune D. Metal release from dental biomaterials. *Biomaterials* 1986;7:163–75.
28. Gwinnett AJ. Corrosion of resin-bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1982;81:441–6.
29. Danaei SM, Safavi A, Roeinpeikar SM, Oshagh M, Iranpour S, Omidekhoda M. Ion release from orthodontic brackets in 3 mouthwashes: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139:730–4.
30. Costa M, Mollenhauer HH. Carcinogenic activity of particulate nickel compounds is proportional to their cellular uptake. *Science* 1980;209:515–7.
31. Trombetta D, Mondello MR, Cimino F, Cristani M, Pergolizzi S, Saija A. Toxic effect of nickel in an in vitro model of human oral epithelium. *Toxicol Lett* 2005;159:219–25.
32. Lü X, Bao X, Huang Y, Qu Y, Lu H, Lu Z. Mechanisms of cytotoxicity of nickel ions based on gene expression profiles. *Biomaterials* 2009;30:141–8.
33. Pereira BR, Tanaka OM, Lima AA, Guariza-Filho O, Maruo H, Camargo ES. Metal and ceramic bracket effects on human buccal mucosa epithelial cells. *Angle Orthod* 2009;79:373–9.
34. Eliades T, Trapalis C, Eliades G, Katsavrias E. Salivary metal levels of orthodontic patients: a novel methodological and analytical approach. *Eur J Orthod* 2003;25:103–6.