

Špecifiká interakcie magnetickej rezonancie a materiálov používaných v čelustnej ortopédii

Specific interactions of magnetic resonance imaging and materials used in orthodontics

Gazdík Ľ., Lysý J., Lehotská V.

MDDr. Ľubomír Gazdík ^{1,2}, MUDr. Juraj Lysý, PhD., MHA ³, prof. MUDr. Viera Lehotská, PhD.¹

¹ II. Rádiologická klinika LF UK a OÚSA Bratislava

² Ortodoncia Gazdík, s.r.o. Dolný Kubín

³ Klinika stomatológie a maxilofaciálnej chirurgie LF UK Bratislava

Korešpondujúci autor:

MDDr. Ľubomír Gazdík, Ortodoncia Gazdík, s.r.o. Dolný Kubín

ABSTRAKT

Magnetická rezonancia sa stala nevyhnutným diagnostickým nástrojom v medicíne. Interakcie magnetického poľa tomografu s materiálmi používanými v čelustno-ortopedickej liečbe môžu viesť k nežiaducim účinkom a zníženiu diagnostickej hodnoty vyšetrenia. Tento článok poskytuje prehľad problematiky s presahom na klinickú prax – popisuje typy interakcií, zameriava sa na špecifiká ich vzniku. Diskutuje o možnostiach ich ovplyvnenia a na záver sumarizuje dostupné usmernenia ortodontických spoločností ohľadom vyšetrenia čelustno-ortopedického pacienta magneticou rezonanciou.

Kľúčové slová: magnetická rezonancia, artefakt, magnetická susceptibilita, čelustno-ortopedický aparát, fixný retainer

ABSTRACT

Nuclear magnetic resonance has become an essential diagnostic tool in medicine. Interactions between the magnetic field of the tomograph and materials used in orthodontic treatment can lead to adverse effects and a decrease in the diagnostic value of the examination. This article provides an overview of the issue with implications for clinical practice – it describes types of interactions and focuses on the specifics of their occurrence. It discusses options for influencing them and finally, it summarizes available guidelines from orthodontic associations regarding the examination of orthodontic patients using magnetic resonance imaging.

Keywords: magnetic resonance imaging, artifact, magnetic susceptibility, orthodontic appliance, fixed retainer

Úvod

Magnetická rezonancia (MR) je nevyhnutným diagnostickým nástrojom v medicíne. Kvôli jeho výrazným výhodám oproti konvenčným technikám zobrazovania sa stáva čoraz bežnejším v každodennej praxi. Napriek jeho nesporným prednostiam sa potenciál MR dá naplno využiť len vtedy, ak sú výstupné dáta čitateľné a interpretovateľné.

Čelustno-ortopedickú (ČO) liečbu v súčasnosti podstupujú nielen adolescenti, ale aj dospelí. Najpoužívanjšie materiály v čelustnej ortopédii (ČO) sú rôzne kovy a ich zliatiny a tie môžu interagovať s magnetickým poľom tomografu. Vzhľadom na rozmanitosť zloženia a spracovania dentálnych materiálov môžu existovať určité špecifiká ich interakcií s magnetickým poľom. Preto je podrobné poznanie problematiky interakcií materiálov používaných v ČO s MR vhodné pre oba smery, rádiológiu aj čelustnú ortopédiu. Môže to slúžiť pre sprehľadnenie medziodbovej komunikácie a zároveň nastavenie klinickej rutiny.

Magnetická susceptibilita ako príčina interakcií

Materiály, ktoré sú používané pri ČO liečbe majú rôznu tendenciu interagovať s magnetickým poľom a narušovať ho. Kvantitatívnym vyjadrením tejto tendencie je tzv. magnetická susceptibilita (Schenck, 1996). Jedná sa o bezrozmernú jednotku χ , ktorá má rozsah -1 až ∞ . Podľa magnetickej susceptibility delíme materiály na diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické. Feromagnetické vlastnosti prvkov (napr. Fe, Ni, Co) majú potenciál pre klinicky významné interakcie s magnetickým poľom.

Interakcie: 1. Zahriatie súčiastky

Klasický fixný ČO aparát s ponechanými drôtmi môže niekedy predstavovať uzavretý, elektricky vodivý oblúk. Tokom elektrického prúdu obvodom dochádza k zahrievaniu materiálu. U MR nekompatibilných materiálov môže dôjsť k prehriatiu súčiastky a následnému popáleniu priľahlých tkanív (Mechl, a kol., 2010). Špecifikám interakcií

v zmysle zohrievania ČO súčiastok sa venovali štúdie, ktoré tento parameter sledovali u zámok a drôtov pri snímovaní na tomografe o sile 1,5T, 3T (Regier, a kol., 2009; Görgülü, a kol., 2014) a 7T (Wezel, a kol., 2014). Zistilo sa, že sa ich teplota zvýši v rozmedzí 0,2° až 3,04°C, čo predstavuje hodnoty v hraniciach bežnej variácie teplôt v dutine ústnej pri prijímaní potravy. Obava z prehriatia je teda pri ČO súčiastkach zbytočná a zvýšenie teploty, ktoré môžu dosiahnuť zámky, resp. drôty je klinicky akceptovateľné. Zahriatie nepredstavuje riziko ohrozenia zubnej drene, alebo zmeny štrukturálnych alebo optických vlastností zubnej skloviny (Görgülü, a kol., 2014; Mechl, a kol., 2010).

Interakcie: 2. Pohyb súčiastky

Feromagnetické materiály, ktoré sú vložené do magnetického poľa, ním môžu byť priťahované alebo odpudzované. Pre ČO súčiastky Klocke modelovým výpočtom zistil, že aj pri použití všetkých snímateľných a pevne viazaných prvkov fixného aparátu sa pri sumácii translačných síl, ktoré nepriamo pôsobia na zuby, prejaví celková sila 1,69N na zariadenie. To znamená menej ako 1N na jeden zubný oblúk (Klocke, a kol., 2006). Výsledkom vyššie uvedených síl môže vyšetrovaný pacient cítiť nepohodlie podobné tomu, ako spôsobuje aktivácia ČO aparátu na zuby počas liečby. Riziko uvoľnenia pevne prichyteného komponentu vzniká až pri sile 60N (Kemper, a kol., 2005), čo je hodnota rádovo vyššia (Wezel, a kol., 2014; Klocke, a kol., 2006).

Interakcie: 3. Artefakty na obraze MR

Artefakty sa na obraze MR môžu vyskytovať z rôznych dôvodov, ale v oblasti ČO aparátov sa jedná hlavne o artefakty spôsobené magnetickou susceptibilitou materiálov („susceptibility artifact“).



Obr. 1: Výpadok signálu (artefakt) na sagitálnom reze hlavy spôsobený fixným ČO aparátom
zdroj: archív II. rádiologickej kliniky LF UK a OUSA

Fig. 1: Signal loss (artifact) on a sagittal head scan caused by a fixed orthodontic appliance

Source: archive of 2nd department of Radiology, Faculty of medicine, Comenius University

Artefakt tohto typu vyzerá ako svetlé a tmavé plochy so skreslením okolitých anatomických štruktúr (Obr.1). Jeho veľkosť a tvar závisí od magnetických vlastností skúmaného objektu, jeho veľkosti a tvaru, priestorovej orientácie a homogenity zliatiny (Mathew, a kol., 2013). Feromagnetické dentálne materiály spôsobujú závažné artefakty v MR obraze (Mathew, a kol., 2013).

V porovnaní bežne používaných materiálov v ČO liečbe sa viaceré štúdie zhodujú na tom, že nerezová oceľ spôsobuje oproti iným signifikantne väčšie skreslenie MR obrazu tvorbou artefaktov (Shalish, a kol., 2015; Beau, a kol., 2015; Elison, a kol., 2008). Čo sa týka titánových zliatin, väčšinový názor odborníkov je, že titánové zliatiny vo všeobecnosti nevytvárajú klinicky významné artefakty (Beau, a kol., 2015). Na druhej strane iní autori zistili, že zliatiny tohto kovu sú schopné vytvárať určité skreslenia MR obrazu (Shafiei, a kol., 2003). Rozdiel v záveroch štúdií vysvetľuje Costa použitím odlišných typov a množstiev zliatiny pri jednotlivých experimentoch (Costa, a kol., 2009). Samotný titán má nízku magnetickú susceptibilitu – je paramagnetický, ale stopy iných kovov v zliatine môžu ovplyvniť interakciu s MR (Beau, a kol., 2015). Preto závisí na individuálnom zložení súčiastky, ako sa to špecificky prejaví na obraze MR. Zliatiny zlata využívané v čelustnej ortopédii sú diamagnetické, preto na MR obraze nevytvárajú artefakty (Shalish, a kol., 2015).

Viacerí autori sa vo svojich prácach zhodujú na tom, že keramické zámky nevytvárajú zmeny na obraze MR (Neela, a kol., 2021; Song, a kol., 2014). Niekedy býva súčasťou keramického zámku kovový slot za účelom zníženia trenia na povrchoch drôtu a slotu. Ten môže spôsobovať určité artefakty. Zámky vyrobené z polykarbonátových a kompozitných materiálov nevykazovali v štúdiách interakcie s MR v zmysle tvorby artefaktov (Song, a kol., 2014; Neela, a kol., 2021).

Problematika zmeny kryštalickej štruktúry ocele

Rôzne typy nehrdzavejúcej ocele pokrývajú široké spektrum rôznych zliatin a produktov, ktoré sa navzájom líšia v hodnote svojej magnetickej susceptibility. Tá vo veľkej miere závisí na ich kryštalickej štruktúre a na type opracovania pri výrobe. Vzhľadom na to, že výrobcovia uvádzajú zloženie ocele vo výrobných tabuľkách, môže sa zdať možné identifikovať interakcie oceľových súčiastok s MR na základe ich zloženia. V skutočnosti sú ale austenitické zliatiny, ktoré majú nízku tendenciu vytvárať artefakty, prítomné v dvoch stavoch (Blankenstein, a kol., 2015). Jednak ako stabilné austenitické ocele, ako aj menej stabilné zliatiny obsahujúce menej chrómu a niklu. Pri takomto zložení vzniká zmiešaná štruktúra, kde austenit je nestabilný už pri izbovej teplote a môže byť čiastočne transformovaný na feromagnetický martensit. Deje sa to v procese výroby – ťahanie drôtu, respektíve pri manipulácii s ním. Pri zhotovovaní konkrétnych typov súčiastok môžu byť použité rôzne metódy – pri zámkach to môže byť odlievanie a frézovanie alebo MIM („metal injection moulding“) (Eliades, a kol., 2003). MIM je technika, kde nedochádza k zmene pôvodnej mikroštruktúry ocele. Blankenstein to potvrdil meraním magnetických

vlastností a porovnaním s tabuľkovými hodnotami použitého typu ocele od výrobcu. U komponentov z rovnakého typu ocele, ale iného postupu výroby boli zaznamenané výrazné diskrepancie hodnôt. (Blankenstein, a kol., 2017). Takisto treba podotknúť, že bežnou súčasťou ČO liečby je tvarovanie ocelového oblúka a pridávanie ohybov do jeho priebehu. Preto sa dajú predpokladať lokálne zmeny magnetických vlastností materiálu. To vysvetľuje, prečo na základe zloženia ocele a s ním súvisiacej kryštalickej štruktúry nemôžeme odhadovať mieru interakcie s MR (Blankenstein, a kol., 2015) a skúmané interakcie preto budú vykazovať špecifiká u konkrétnych prvkov ČO aparátu.

Problematika rozsahu a tvaru súčiastky

Z komponentov používaných pri čelustno-ortopedickej liečbe zostávajú na zuboch fixne zachytené zámky, krúžky a fixné retainery. Za predpokladu, že súčiastky sú vyrobené z jedného typu zliatiny (v citovanej štúdii nerezová oceľ), zámky a krúžky v porovnaní s fixnými retainermi spôsobujú vo všeobecnosti závažnejšie artefakty (Beau, a kol., 2015). Zámky sa totiž spravidla nachádzajú na vestibulárnych, prípadne lingválnych plochách všetkých zubov. V dostupných štúdiách nie je konkretizovaný minimálny počet fixných komponentov, ktoré spôsobujú klinicky významné artefakty. Štúdie zamerané na skúmanú problematiku nekonkretizujú ani počet súčiastok ako štandardnú modelovú situáciu. Niektoré štúdie používajú zámky aj kanyly (Zachriat, a kol., 2015). Usudzujeme, že súčiastky sú upevnené v rozsahu všetkých zubov, vrátane minimálne prvých stoličiek. Fixný retainer býva spravidla prítomný v rozsahu šiestich frontálnych zubov, zasahuje teda menej distálne ako zámky. Pravdepodobnosť, že artefakty znehodnocujúce diagnostickú hodnotu MR obrazu budú prítomné, je vyššia pri vyšetrowaní ústnej dutiny, sánky, a prítlahých tkanív, napríklad submandibulárnej žľazy (Mechl, a kol., 2010).

Veľkosť skreslenia anatomických štruktúr závisí okrem iného na objeme a tvare kovovej súčiastky. ČO zámka, ako základná „stavebná jednotka“ fixného aparátu má objem 15-20 mm³. Objem fixného retainera sa odlišuje podľa použitej hrúbky drôta. Pre predstavu, 30 mm oblúk o hrúbke 0.018i má objem 4,92 mm³. Murukami zistil, že rôzne tvary súčiastky môžu ovplyvniť veľkosť a konfiguráciu artefaktu aj v prípade, že súčiastky majú rovnaký objem a váhu (Murukami, a kol., 2016).

Problematika výberu sekvencie pri snímaní MR

Nie len materiál súčiastky prítomnej v tele pacienta, ale aj konfigurácia tomografu MR a sekvencie, ktoré sú na zobrazovanie použité, môžu ovplyvniť vzhľad artefaktov. Pri vyššej sile magnetického poľa B0 dochádza k tvorbe väčších artefaktov. Niektoré sekvencie snímania sú náchylnejšie na tvorbu artefaktov magnetickej susceptibility. Naopak, použitie turbo-spin-echo (TSE) v porovnaní s gradient-echo sekvencie (GRE) prinieslo ich redukciu (Zachriat, a kol., 2015). Z hľadiska tvorby artefaktov sa

neodporúča použitie techniky spektrálnej saturácie tuku (FatSat) (Mechl, a kol., 2010). Naopak, k eliminácii artefaktov vznikajúcich magneticou vnímavosťou slúžia okrem spomínaného špecifické MRI sekvencie, ako je napríklad SEMAC (Slice encoding metal artifact correction), technika VAT (View Angle Tilting) a sekvencia MARS (Metal artifact reduction sequence), ktorá kombinuje viacero spôsobov redukcie artefaktov magnetickej susceptibility (Kolind, a kol., 2004).

Usmernenia ortodontických spoločností

Stáva sa, že pred vyšetrením MR dostane čelustný ortopéd požiadavku na odstránenie všetkých komponentov ČO aparátu. Ortodontické spoločnosti rôznych krajín, medzi inými aj Slovenská ortodontická spoločnosť, reagovali na opakujúcu sa neprehľadnú klinickú situáciu. Preto boli vydané usmernenia pre vyšetrovanie pacientov s fixnými ortodontickými aparátmi magneticou rezonanciou (Mechl, a kol., 2010, Rózyto-Kalinowska, a kol., 2019, Stanovisko SOS, 2016). Je to snaha nájsť určitý algoritmus, ktorý by pomohol pri klinickom rozhodovaní ohľadom nutnosti snímania súčiastok ČO aparátu pred vyšetrením MR.

Vo všeobecnosti sa odporúča odstránenie všetkých snímateľných prvkov aparátu (oblúkové drôty, transpalatálne oblúky, lip-bumper a pod.) a dôsledná kontrola pevnosti spojenia ostatných súčiastok na povrch zubov. Treba zvážiť nasadenie elastickej retiazky okolo prítomných zámok. Tá má úlohu dodatočného zaistenia polohy súčiastky, ak by sa náhodou pri vyšetrení uvoľnila (Shivam, a kol., 2021). Fixné čelustno-ortopedické aparáty, či už aktívne alebo retenčné, sú klinicky relevantné len v prípade, že snímaná oblasť sa nachádza v regióne hlavy alebo krku. Pri vyšetrení kaudálnejších anatomických štruktúr môžu byť ponechané, bez ohľadu na materiál a tvar súčiastky.

Ak je oblasť záujmu vyšetrenia v oblasti hlavy alebo krku, treba zvážiť materiál a rozsah ČO súčiastky. ČO zámky z keramiky alebo polykarbonátu môžu byť ponechané na mieste. Iné je to pri zámkach z ocele alebo keramických zámkach s oceľovým slotom, ktoré by mali byť pred vyšetrením MR odstránené. Špecifickou oblasťou sú fixné retainery. Poľská ortodontická spoločnosť sa díva na ne najprísnejšie, bez ohľadu na materiál musia byť odstránené, ak sa vyšetrenie týka maxilo-faciálnej oblasti alebo kránia (Rózyto-Kalinowska, a kol., 2019). Slovenská a česká ortodontická spoločnosť postup pri retaineroch nekonkretizujú. V literatúre vieme nájsť protokol, ktorý zohľadňuje špecifiká fixných retaineroch. V prípade, že sú zhotovené z nikel-titánovej zliatiny je vhodné ich odstránenie. Pre oceľové retainery platí, že by mali byť odstránené len v prípade, kedy je oblasťou záujmu región ústnej dutiny (Shivam, a kol., 2021).

U pacientov so zdravotnými problémami, u ktorých sa dá očakávať častejšie vyšetrovanie MR, sa odporúča používať zámky keramické, titánové alebo kompozitné. V každom prípade je tiež vhodné, aby aj zo strany rádiológa bola individuálne zhodnotená potreba a spôsob vyšetrenia, respektíve použitie techník redukujúcich artefakty.

Záver

S nárastom používania MR je stále pravdepodobnejšie, že čelustní ortopédi budú mať v liečbe pacientov, ktorí potrebujú MR vyšetrenie hlavy alebo krčnej oblasti. Je preto nevyhnutné porozumieť špecifickým interakciám, ktoré môžu vzniknúť v dôsledku umiestnenia ČO materiálov v tomografe. Vychádzajúc z ich poznania, je žiadané zaviesť do praxe vhodné pracovné protokoly. Tie zjednodušia rozhodovací proces, ktoré komponenty by mali byť pred vyšetrením MR odstránené. Ďalšie výskumy týkajúce sa účinkov fixných ČO aparátov na definované anatomicke oblasti skenov hlavy a krku, podobne ako vplyv použitia rôznych MR sekvencií, by boli prospešné pre klinickú prax a spoluprácu čelustných ortopédov a rádiológov.

Literatúra

1. Beau, A., Bossard, D., Gebeile-Chauty, S.: Magnetic resonance imaging artefacts and fixed orthodontic attachments. *The European Journal of Orthodontics*, 2015, 37.1: 105-110.
2. Blankenstein, F., Truong, B. T., Thomas, A., et al.: Predictability of magnetic susceptibility artifacts from metallic orthodontic appliances in magnetic resonance imaging. *Journal of OrofacialOrthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2015, 76.1: 14-29.
3. Blankenstein, F. H., Asbach, P., Beuer, F., et al.: Magnetic permeability as a predictor of the artefact size caused by orthodontic appliances at 1.5 T magnetic resonance imaging. *Clinical oral investigations*, 2017, 21: 281-289.
4. Costa, A. L., Appenzeller, S., Yasuda, C. L.: Artifacts in brain magnetic resonance imaging due to metallic dental objects. *Medicina Oral Patologia Oral Y CirugiaBucal*, 2009, 14.6: 278-282.
5. Eliades, G., Eliades, T., Brantley, W.A., et al.: *Dental materials in vivo: aging and related phenomena*. Chicago: Quintessence, 2003.
6. Elison, J. M., Leggett, V. L., Thomson, M., et al.: Influence of common orthodontic appliances on the diagnostic quality of cranial magnetic resonance images. *American Journal of Orthodontics and DentofacialOrthopedics*, 2008, 134.4: 563-572.
7. Görgülü, S., Ayyildiz, S., Kamburoglu, K., et al.: Effect of orthodontic brackets and different wires on radiofrequency heating and magnetic field interactions during 3-T MRI. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2014, 43.2: 20130356.
8. Kemper, J., Klocke, A., Kahl-Nieke, B., et al.: Kieferorthopädische Brackets in der Hochfeld-Magnetresonanztomographie: Experimentelle Beurteilung magnetischer Anziehungs- und Rotationskräfte bei 3 Tesla. In: *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart-New York, 2005. p. 1691-1698.
9. Klocke, A., Kahl-Nieke, B., Adam, G.: Magnetic forces on orthodontic wires in high field magnetic resonance imaging (MRI) at 3 Tesla. *Journal of OrofacialOrthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2006, 67.6: 424-429.
10. Kolind, S. H., MacKay, A. L., Munk, P. L., et al.: Quantitative evaluation of metal artifact reduction techniques. *Journal of Magnetic Resonance Imaging: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 2004, 20.3: 487-495.
11. Mathew, C. A., Maller, S., Maheshwaran: Interactions between magnetic resonance imaging and dental material. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 2013, 5.Suppl 1: S113.
12. Mechl, M., Žižka, J., Tintěra, J., et al.: Kontraindikace a rizika vyšetření pomocí magnetické rezonance. *Ces Radiol*, 2010, 64.1: 69-75.
13. Murakami, S., Verdonschot, R. G., Kataoka, M., et al.: A standardized evaluation of artefacts from metallic compounds during fast MR imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2016, 45.8: 20160094.
14. Neela, P.K., Tatikonda, V.K., Syed, M.W., et al.: Influence of orthodontic brackets and permanent retainers on the diagnostic image quality of MRI scans: a preliminary study. *Dental and Medical Problems*, 2021, 58.4: 499-508.
15. Regier, M., Kemper, J., Kaul, M. G., et al.: Radiofrequency-induced heating near fixed orthodontic appliances in high field MRI systems at 3.0 Tesla. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2009, 70.6: 485-494.
16. Różyto-Kalinowska, I., Walawska, B., Predko-Engel, A., et al.: Magnetic resonance imaging in orthodontic patients. Guidelines of the Polish Orthodontic Society (PTO), the Polish Medical Radiological Society (PLTR), and the Polish Dental Association (PTS). *Journal of Stomatology*, 2019, 72(1), 1-3.
17. Schenck, JF.: The role of magnetic susceptibility in magnetic resonance imaging: MRI magnetic compatibility of the first and second kinds. *Medical physics*, 1996, 23.6: 815-850.
18. Shalish, M., Dykstein, N., Friedlander-Barenboim, S.: Influence of common fixed retainers on the diagnostic quality of cranial magnetic resonance images. *American Journal of Orthodontics and DentofacialOrthopedics*, 2015, 147.5: 604-609.
19. Shivam, R., Rogers, S., Drage, N.: An Evidence-based Protocol for the Management of Orthodontic Patients Undergoing MRI Scans. *Orthodontic Update*, 2021, 14, 32-35.
20. Slovenská ortodontická spoločnosť – odborné stanovisko pre vyšetovanie pacientov s fixnými ortodontickými aparátmi magnetickou rezonanciou. <https://orto.sk/wp-content/uploads/2019/05/Stanolisko-MRI-konec.pdf>
21. Song, H.-O., Yang, O.-N., Lee, S.-H., et al.: Distortion of Magnetic Resonance Imaging for Different Types of Orthodontic Material. *Journal of Digital Convergence*, 2014, 12.2: 439-446.
22. Wezel, J., Kooij, B.J., Webb, A.G.: Assessing the MR compatibility of dental retainer wires at 7 Tesla. *Magnetic resonance in medicine*, 2014, 72.4: 1191-1198.
23. Zachriat, C., Asbach, P., Blankenstein, K. I., et al.: MRI with intraoral orthodontic appliance—a comparative in vitro and in vivo study of image artefacts at 1.5 T. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2015, 44.6: 20140416

Korešpondujúci autor:

MDDr. Ľubomír Gazdík
Ortodoncia Gazdík, s.r.o.
Dolný Kubín