

Wpływ stomatologicznych uzupełnień protetycznych na diagnostykę radiologiczną

Impact of dental prosthetic restorations on diagnostic radiology

Natalia Prusik, Dominika Gawlak

Katedra Protetyki Stomatologicznej, Uniwersyteckie Centrum Stomatologii,
Warszawski Uniwersytet Medyczny

Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzewa-Janicka

HASŁA INDEKSOWE:

radiologia, RTG, protetyka, ferromagnetyki, artefakty obrazowania

KEY WORDS:

MRI, radiology, X-ray, prosthetics, ferromagnets, radiological image artifacts

Streszczenie

Niektóre materiały protetyczne i stomatologiczne wykonane ze stopów metali, m.in. protezy zębowe, korony, mosty, aparaty ortodontyczne oraz implanty, a także złamane narzędzia endodontyczne obecne w jamie ustnej pacjenta, stanowią bezwzględne lub względne przeciwwskazania do przeprowadzenia badań radiologicznych (rezonansu magnetycznego i rentgenodiagnostyki, w tym tomografii komputerowej). Celem pracy jest przedstawienie uzupełnień protetycznych, które podczas diagnostyki obrazowej mogą powodować artefakty, uszkadzać protezy lub stanowić zagrożenie dla zdrowia pacjenta, oraz omówienie bezpiecznych rozwiązań. Ferromagnetyki, np. nikiel, kobalt i chrom, często powodują pojawienie się na obrazie błysków i zacienień, a ponadto są podatne na uszkodzenia, odkształcenia lub translokację. Uzupełnienia protetyczne wykonane z bioceramiki, tytanu, cyrkonu, złota, aluminium oraz polimerów są uważane za bezpieczne w diagnostyce radiologicznej. Licowanie podbudowy metalowej porcelaną pozwala na uzyskanie biozgodnych i trwałych materiałów protetycznych, które nie zakłócają obrazowania. Lekarze dentyści, świadomi utrudnień w diagnostyce radiologicznej spowodowanych obecnością uzupełnień protetycznych, mogą zwiększyć bezpieczeństwo pacjenta, a także ograniczyć artefakty obrazowania, poprawiając tym samym rzetelność diagnostyczną.

Summary

Some metal alloy-based prosthetic and dental materials, such as dentures, crowns, bridges, orthodontic appliances and implants, as well as separated endodontic instruments present in the patient's oral cavity, present absolute or relative contraindications for diagnostic radiology (magnetic resonance imaging and X-ray diagnostics, including computed tomography). The aim of this study is to focus on prosthetic restorations that may cause artifacts, damage dentures, or threaten patients' health during diagnostic imaging, and to discuss safe solutions. Ferromagnetic materials, e.g. nickel, cobalt and chromium, often cause flashes and shadows in the image, and are susceptible to damage, deformation or translocation. Prosthetic restorations made of bioceramics, titanium, zirconium, gold, aluminum and polymers are considered safe in diagnostic radiology. Veneering porcelain on a metal framework is a means to obtain biocompatible and durable prosthetic materials that do not interfere with radiological imaging. Dentists, aware of the difficulties in diagnostic radiology caused by prosthetic restorations, can increase patient safety and reduce imaging artifacts, thus improving diagnostic reliability.

Wstęp

Obrazowanie medyczne (ang. medical imaging) pozwala lekarzom na uwidocznienie struktur wewnętrznych, ich stanu, a także procesów fizjologicznych i patologicznych, co ułatwia diagnostykę i monitorowanie postępów leczenia w codziennej pracy klinicznej.^{1,2} Badania radiologiczne – rezonans magnetyczny (ang. magnetic resonance imaging, MRI) oraz rentgenodiagnostyka (RTG), w tym tomografia komputerowa (ang. computed tomography, CT) – są szczególnie narażone na powstawanie artefaktów na obrazie. W większości przypadków błędy te spowodowane są czynnikiem ludzkim, szczególnie brakiem wiedzy dotyczącej możliwych interakcji ciał obcych obecnych w tkankach żywych z promieniowaniem lub polem magnetycznym wykorzystywanym do badań.

Uzupełnienia protetyczne o właściwościach ferromagnetycznych mogą powodować artefakty w okolicy głowy i szyi. Utrata sygnału wymaganego do utworzenia obrazu utrudnia rozgraniczenie struktur anatomicznych, a zakres zakłóceń różni się w zależności od skanowanego obiektu, jego rozmiaru i położenia. Ponieważ zasięg i lokalizacja artefaktów zależą od wielu czynników, w tym właściwości otaczających tkanek, parametrów obrazowania, a nawet protokołów wykonywanych badań diagnostycznych, trudno przewidzieć, w jakim stopniu pojawienie się zmian na obrazie spowodowanych materiałami dentystycznymi obniży jakość diagnostyki radiologicznej.

W przeciwieństwie do artefaktów związanych z aparatami ortodontycznymi, które są dokładnie opisane w literaturze specjalistycznej, znaczenie implantów dentystycznych i uzupełnień protetycznych w diagnostyce radiologicznej nie zostało jeszcze w pełni rozpoznane. Generalnie przyjmuje się, że zakłócenia na obrazie spowodowane tytanem i materiałami ceramicznymi ograniczają się wyłącznie do

jamy ustnej, a stopy stali nierdzewnej mogą być przyczyną pojawienia się silniejszych artefaktów. Obecnie wiadomo także, że tendencja do tworzenia się zakłóceń maleje w przypadku materiałów paramagnetycznych i diamagnetycznych, np. tytanu i złota.

W niniejszej pracy omówiono materiały protetyczne, które najczęściej powodują artefakty podczas diagnostycznych badań radiologicznych, oraz te, które nie są związane z takim ryzykiem. Zasadne wydaje się jednak nie tylko wzbogacenie swojej wiedzy dotyczącej właściwości fizycznych materiałów protetycznych, ale także zapoznanie się z podstawowymi zasadami działania urządzeń wykorzystywanych we współczesnej radiologii. Wyłącznie kompleksowe podejście do poruszonego tematu przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa pacjenta podczas badań diagnostycznych oraz zwiększenia wiarygodności uzyskanych wyników.

Uzupełnienia protetyczne w badaniach radiologicznych

Czyste metale, ze względu na niską wytrzymałość, nie są stosowane w protetyce. Znacznie lepsze właściwości fizykochemiczne uzyskuje się przy wykorzystaniu ich stopów, zawierających m.in. nikiel, kobalt, chrom oraz metale szlachetne. Jednakże stopy metali oraz inne tworzywa o właściwościach ferromagnetycznych, wchodzące w skład m.in. koron i mostów, mogą zaburzać diagnostykę obrazową. Ekspozycja uzupełnień protetycznych zawierających ferromagnetyki na pole magnetyczne oraz promieniowanie X lub gamma, wykorzystywane w diagnostyce radiologicznej, może nie tylko negatywnie wpływać na miarodajność uzyskanego obrazu (np. poprzez błyski, zaciemnienia), ale także stanowić bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia pacjenta (np. poprzez wprowadzenie metalowych części protez w ruch i ryzyko ich przemieszczenia się). Co więcej, zawartość nawet niewielkich elementów

ferromagnetycznych w protezie zwiększa ryzyko jej uszkodzenia.³⁻⁵

Powstawanie artefaktów jest szczególnie istotne w obrazowaniu ustno-twarzowym oraz szyi i mózgu. Zależy od płaszczyzny przekroju obrazu oraz innych czynników, takich jak siła gradientowego i statycznego pola magnetycznego, kształt zastosowanego materiału protetycznego lub implantu i jego lokalizacja, a także stopień ferromagnetyzmu tworzywa. Ważna jest również orientacja implantu/materiału *in situ*.⁶⁻¹⁰

Nie tylko materiały protetyczne stanowią zagrożenie dla człowieka podczas badań radiologicznych. Badania wykazały, że amalgamat, jeszcze do niedawna stosowany do wykonywania wypełnień, pod wpływem pola magnetycznego może wydzielać jony rtęci, co powoduje ryzyko pojawienia się reakcji toksycznej, zwłaszcza u pacjentów z wieloma wypełnieniami.¹¹⁻¹³

Uzupełnienia protetyczne powodujące artefakty w badaniach MRI

Rezonans magnetyczny (MRI), nieinwazyjna technika radiologiczna, wykorzystuje zjawisko pola magnetycznego, które powoduje uporządkowanie protonów wody w komórkach organizmu. Wzbudzenie komórek przyczynia się do wygenerowania fali radiowej odbieranej przez specjalistyczny aparat, co widoczne jest w postaci obrazu na monitorze.^{3,14} Badanie za pomocą MRI pozwala na uzyskanie obrazu wnętrza ciała w dowolnej płaszczyźnie.^{15,16} Ze względu na wysoki profil bezpieczeństwa, MRI jest wykorzystywany w diagnostyce znacznie częściej niż CT czy badanie RTG. Warto jednak zaznaczyć, że technika ta nie może być stosowana w przypadku obecności u pacjenta ciał obcych o właściwościach ferromagnetycznych, np. implantów.¹

Obrazowanie za pomocą MRI jest niewskazane dla pacjentów posiadających uzupełnienia protetyczne zawierające niektóre stopy metali lub nadbudowane na implantach metalowych,

a także inne materiały protetyczne o właściwościach ferromagnetycznych. Jest to związane z dużym ryzykiem przemieszczenia się tych obiektów oraz pojawieniem się artefaktów zaburzających obraz badanych tkanek i struktur ciała.³⁻⁵ Mianem artefaktu określa się zakłócenie intensywności sygnału MRI lub obraz pustki, które nie mają podstaw anatomicznych. Zniekształcenia obrazu mogą być powodowane przez korony zębów, implanty, metalowe aparaty ortodontyczne, a nawet pozostałości narzędzi endodontycznych pozostawione w kanałach zębowych.^{4,5,17-21}

Silne pole magnetyczne, wykorzystywane podczas obrazowania techniką MRI, może wchodzić w interakcje z materiałami protetycznymi/stomatologicznymi na wiele sposobów. Jednym z nich jest przyciąganie obiektów o właściwościach ferromagnetycznych, zawierających np. żelazo, nikiel czy kobalt, co stanowi bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia pacjenta.³ Ponadto ryzyko nagrzania protezy przez falę radiową, zwłaszcza w miejscach o dużej krzywiznie, może być powodem uszkodzenia tkanek w jamie ustnej.²¹⁻²³ Kolejnym problemem jest naruszenie struktury koron, protez lub wkładów koronowo-korzeniowych.²⁴

Nieznaczne lub znaczne artefakty w obrazie MRI powodują:

- korony ze stopów chromowo-niklowych, np. Remanium CSe,¹⁹
- korony ze stopów chromowo-kobaltowych, np. Wironit Extrahart,^{19,20}
- protezy metalowe,^{5,25}
- korony ze stali nierdzewnej.^{26,27}

Materiałami, które nie powinny powodować artefaktów podczas badań za pomocą MRI, są m.in. tytan, cyrkon, żywice (również modyfikowane), złoto, ceramika, bioceramika, aluminium, polimery oraz inne tworzywa sztuczne oraz kompozytowe, niezawierające w swoim składzie stopów metali.²⁸⁻³⁸ Osoby użytkujące protezy wykonane z materiałów

ferromagnetycznych proszone są o ich zdjęcie na czas wykonywania badania.

Uzupełnienia protetyczne powodujące artefakty w badaniach RTG

Obrazowanie radiologiczne rentgenowskie (RTG) obejmuje kilka rodzajów badań wykorzystujących nierównomierne pochłanianie promieniowania X przez tkanki, w tym zdjęcie rentgenowskie (badanie RTG, „rentgen”), prześwietlenie rentgenowskie, radiografię cyfrową i tomografię komputerową (CT).³⁹⁻⁴⁰ Różnią się one czasem ekspozycji na wiązkę promieniowania, sposobem zapisu danych, a także stopniem zaawansowania technologii. W CT zarówno urządzenie emitujące fale, jak i detektor są ruchome. Oznacza to, że urządzenie, obracając się wokół ciała pacjenta, jest w stanie wykonać nawet kilka tysięcy ujęć badanego organu, łącząc je następnie w jeden obraz.⁴¹ W przeciwieństwie do MRI, techniki obrazowania RTG mogą wpływać na zdrowie.⁴²⁻⁴⁵ Według danych statystycznych przeważająca część rocznej dawki promieniowania X przyjmowanej przez człowieka pochodzi z diagnostyki radiologicznej jamy ustnej i głowy.⁴³

Materiały, które wykorzystuje się obecnie w protetyce, stomatologii i ortodoncji, muszą spełniać określone normy bezpieczeństwa, w tym biokompatybilność. Tworzywa, które nie są wysoce zgodne pod względem biologicznym z tkankami ludzkiego ciała, a zwłaszcza ferromagnetyki (niektóre stopy metali, w tym żelazo, kobalt, nikiel i inne metale przejściowe), mogą nie tylko zaburzać obraz uzyskany podczas badania radiologicznego, ale także wpłynąć niekorzystnie na dobrostan pacjenta.⁴⁶⁻⁴⁹ Podczas obrazowania RTG, metalowe przedmioty – korony i protezy, także te oparte na implantach – mogą rzucać cienie w obrębie głowy i szyi. Artefakty mają również postać rozbłysków, zwłaszcza jeżeli pochodzą od uzupełnień stałych implantoprotetycznych.⁵⁰⁻⁵³

Materiały protetyczne bezpieczne w diagnostyce radiologicznej

Protezy zębowe, korony, mosty oraz odbudowy zębów na implantach niezawierające w swoim składzie stopów metali uważane są za bezpieczne w diagnostyce radiologicznej. Materiały na bazie żywicy, elastyczne tworzywa sztuczne oraz gładjonometry nie powodują ryzyka uszkodzenia protezy, pojawienia się artefaktów i wystąpienia zagrożenia dla zdrowia pacjenta. Za względnie bezpieczne uznawane są także: bioceramika, ceramika, tytan, złoto, aluminium, polimery oraz cyrkon.^{28-38,54-60} Warto jednak zaznaczyć, że chociaż protezy wykonane z metali nieferromagnetycznych, takich jak platyna, złoto czy tytan, są bezpieczniejsze podczas badania radiologicznego niż ferromagnetyki, istnieje ryzyko pojawienia się drobnych zakłóceń na obrazie.^{55,61-66} W związku z tym konieczne jest poinformowanie personelu przeprowadzającego diagnostykę radiologiczną o rodzaju posiadanej protezy. Wówczas specjalista może zaproponować taką metodę badania, która nie będzie kolidowała z właściwościami fizycznymi uzupełnienia protetycznego. Protetyk powinien natomiast pamiętać, aby dokładnie przeanalizować skład stopu metali, z którego wykonywane są uzupełnienia. Czasami poszczególne metale z osobna nie posiadają właściwości ferromagnetycznych, ale w postaci stopu już tak.^{67,68}

Aby uniknąć powstawania artefaktów w badaniach obrazowych i zapewnić bezpieczeństwo pacjentowi, należy:

- zapewnić edukację dotyczącą interakcji uzupełnień protetycznych z promieniowaniem wykorzystywanym w różnych technikach radiologicznych zarówno lekarzom dentystom oraz protetykom, jak i specjalistom radiologom,
- zamiast uzupełnień metalowych wybierać ceramiczne lub licowane porcelaną, a w przypadku koron metalowych – stopy metali szlachetnych,

- w przypadku braku możliwości wyboru materiału do wykonania uzupełnienia, preferować protezy zdejmowane, co umożliwi bezpieczne przeprowadzenie badania radiologicznego,
- w przypadku braku wiedzy na temat rodzaju uzupełnienia protetycznego u pacjenta, zawsze uznawać je jako materiał niebezpieczny dla urządzenia diagnostycznego.⁵

Dzięki innowacyjnym technologiom uzupełnienia stałe ze stopów metali są obecnie licowane porcelaną, co zabezpiecza przed szkodliwym oddziaływaniem promieniowania wykorzystywanego w diagnostyce radiologicznej. Nadal jednak istnieje pilna potrzeba badań, nie tylko nad wpływem uzupełnień protetycznych różnego rodzaju na artefakty obrazowania, ale także nad tworzeniem biozgodnych materiałów, w celu poprawy precyzji diagnostyki i bezpieczeństwa pacjenta. W dalszym ciągu dużym wyzwaniem w stomatologii są metalowe aparaty ortodontyczne.⁶⁹⁻⁷¹ Badacze zauważyli, że tzw. promieniowanie wtórne i tworzenie się osadów promieniowania w obrębie wybranego materiału protetycznego może być konsekwencją pojawienia się dolegliwości zdrowotnych u pacjentów.³

Podsumowanie

1. Niektóre rodzaje uzupełnień protetycznych w badaniach radiologicznych (MRI, CT) mogą powodować artefakty na obrazie oraz stanowić zagrożenie dla zdrowia pacjenta.
2. Niektóre stopy metali, zawierające m.in. nikiel, kobalt, chrom czy metale szlachetne, oraz inne tworzywa o właściwościach ferromagnetycznych, wchodzące w skład protez, koron i mostów, często prowadzą do pojawienia się na obrazie błysków i zacienień, a ponadto są podatne na uszkodzenia, odkształcenia, a nawet translokację.
3. Uzupełnienia protetyczne, uważane za bezpieczne w trakcie przeprowadzania badań

radiologicznych, wykonane są z bioceramiki, ceramiki, tytanu, cyrkonu, złota, aluminium oraz polimerów.

4. Innowacyjne technologie pozwalają na uzyskanie bezpiecznych, biozgodnych i trwałych materiałów protetycznych, które nie zakłócają obrazowania radiologicznego, czego przykładem jest licowanie uzupełnień z metali porcelaną.

Piśmiennictwo

1. *Hussain S, Mubeen I, Ullah N, et al.*: Modern diagnostic imaging technique applications and risk factors in the medical field: A review. *Biomed Res Int* 2022; 2022: 5164970. doi: 10.1155/2022/5164970
2. *Laal M*: Innovation process in medical imaging, *Procedia Soc Behav Sci* 2013; 81: 60-64. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.06.388
3. *Mathew CA, Maller S, Maheshwaran*: Interactions between magnetic resonance imaging and dental material. *J Pharm Bioallied Sci* 2013; 5(Suppl 1): S113-116. doi: 10.4103/0975-7406.113309
4. *Shellock FG, Crues JV*: High-field-strength MR imaging and metallic biomedical implants: an ex vivo evaluation of deflection forces. *AJR Am J Roentgenol* 1988; 151(2): 389-392. doi: 10.2214/ajr.151.2.389
5. *New PF, Rosen BR, Brady TJ, et al.*: Potential hazards and artifacts of ferromagnetic and nonferromagnetic surgical and dental materials and devices in nuclear magnetic resonance imaging. *Radiology* 1983; 147(1): 139-148. doi: 10.1148/radiology.147.1.6828719
6. *Baek CH, Chung MK, Son YI, et al.*: Tumor volume assessment by 18F-FDG PET/CT in patients with oral cavity cancer with dental artifacts on CT or MR images. *J Nucl Med* 2008; 49(9): 1422-1428. doi: 10.2967/jnumed.108.051649
7. *Krupa K, Bekiesińska-Figatowska M*: Artifacts in magnetic resonance imaging. *Pol*

- J Radiol 2015; 80: 93-106. doi: 10.12659/PJR.892628
8. *Weerakkody Y, Bell D, Murphy A, et al.*: MRI artifacts. Radiopaedia.org 2024. Dostęp online [11.03.2025]: <https://radiopaedia.org/articles/16585>
9. *Wakumoto M, Masaki S, Dang J, et al.*: Visualization of dental crown shape in an MRI-based speech production study. Int J Oral Maxillofac Surg 1997; 26: 189-190. doi: 10.1016/s0901-5027(97)81405-1
10. *Imai H, Tanaka Y, Nomura N, et al.*: Three-dimensional quantification of susceptibility artifacts from various metals in magnetic resonance images. Acta Biomater 2013; 9(9): 8433-8439. doi: 10.1016/j.actbio.2013.05.017
11. *Bates LF, Ireland AW*: The magnetic properties of silver amalgams, Proc Phys Soc 1937; 49 (6): 642-645. doi: 10.1088/0959-5309/49/6/302
12. *Bates LF, Tai LC*: The magnetic properties of amalgams, Proc Phys Soc 1936; 48 (5): 795-809. doi: 10.1088/0959-5309/48/5/312
13. *Shahidi SH, Bronoosh P, Alavi AA, et al.*: Effect of magnetic resonance imaging on microleakage of amalgam restorations: an in vitro study. Dentomaxillofac Radiol 2009; 38(7): 470-474. doi: 10.1259/dmfr/30077669
14. *Ghadimi M, Sapra A*: Magnetic resonance imaging contraindications. StatPearls Publishing 2025. Dostęp online [11.03.2025]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551669/>
15. *Islam O, Munir S*: Brain magnetic resonance imaging: Background, indications, contraindications. Medscape 2020. Dostęp online [11.03.2025]: <https://emedicine.medscape.com/article/2105033-overview?form=fpf>
16. *Sabuncu MR, Konukoglu E*: Clinical prediction from structural brain MRI scans: a large-scale empirical study. Neuroinformatics 2015; 13(1): 31-46. doi: 10.1007/s12021-014-9238-1
17. *Gegauff AG, Laurell KA, Thavendrarajah A, Rosenstiel SF*: A potential MRI hazard: forces on dental magnet keepers. J Oral Rehabil 1990; 17(5): 403-410. doi: 10.1111/j.1365-2842.1990.tb01411.x
18. *Kaneda T, Minami M, Curtin HD, et al.*: Dental bur fragments causing metal artifacts on MR images. AJNR Am J Neuroradiol 1998; 19(2): 317-319.
19. *Lissac M, Metrop D, Brugirard J, et al.*: Dental materials and magnetic resonance imaging. Invest Radiol 1991; 26(1): 40-45. doi: 10.1097/00004424-199101000-00008
20. *Raphael B, Haims AH, Wu JS, Katz LD, White LM, Lynch K*: MRI comparison of periprosthetic structures around zirconium knee prostheses and cobalt chrome prostheses. AJR Am J Roentgenol 2006; 186(6): 1771-1777. doi: 10.2214/AJR.05.1077
21. *Guerhazi A, Miaux Y, Zaim S, Peterfy CG, White D, Genant HK*: Metallic artefacts in MR imaging: effects of main field orientation and strength. Clin Radiol 2003; 58(4): 322-328. doi: 10.1016/s0009-9260(02)00540-8
22. *Cunningham AS, Harding S, Chatfield DA, et al.*: Metallic neurosurgical implants for cranial reconstruction and fixation: assessment of magnetic field interactions, heating and artefacts at 3.0 Tesla. Br J Neurosurg 2005; 19(2): 167-172. doi: 10.1080/02688690500145720
23. *Schueler BA, Parrish TB, Lin JC, et al.*: MRI compatibility and visibility assessment of implantable medical devices. J Magn Reson Imaging 1999; 9(4): 596-603. doi: 10.1002/(sici)1522-2586(199904)9:4<596::aid-jmri14>3.0.co;2-t
24. *Sailer I, Karasan D, Todorovic A, Ligoutsikou M, Pjetursson BE*: Prosthetic failures in dental implant therapy. Periodontol 2000 2022; 88(1): 130-144. doi: 10.1111/prd.12416
25. *Taniyama T, Sohmura T, Etoh T, Aoki M, Sugiyama E, Takahashi J*: Metal artifacts in MRI from non-magnetic dental alloy and its

- FEM analysis. *Dent Mater J* 2010; 29(3): 297-302. doi: 10.4012/dmj.2009-116
26. *Sumner O, Goldsmith R, Heath N, Taylor GD*: The interaction and interference of preformed metal crowns on magnetic resonance imaging: a scoping review with a systematic methodology. *Eur Arch Paediatr Dent* 2021; 22(6): 1023-1031. doi: 10.1007/s40368-021-00644-z
27. *Sumner O, Goldsmith R*: Artefact or fiction? *Br Dent J* 2019; 227(2): 71. doi: 10.1038/s41415-019-0580-4
28. *Hinshaw DB Jr, Holshouser BA, Engstrom HI, Tjan AH, Christiansen EL, Catelli WF*: Dental material artifacts on MR images. *Radiology* 1988; 166(3): 777-779. doi: 10.1148/radiology.166.3.3340777
29. Dental Health Society: Are dental crowns and MRI a dangerous combination? 2019. Dostęp online [11.03.2025]: <https://dentalhealthsociety.com/crowns/are-dental-crowns-and-mri-a-dangerous-combination/>
30. *Harris TM, Faridrad MR, Dickson JA*: The benefits of aesthetic orthodontic brackets in patients requiring multiple MRI scanning. *J Orthod* 2006; 33(2): 90-94. doi: 10.1179/146531205225021465
31. *Ernstberger T, Heidrich G, Bruening T, Krefft S, Buchhorn G, Klinger HM*: The interobserver-validated relevance of intervertebral spacer materials in MRI artifacting. *Eur Spine J* 2007; 16(2): 179-185. doi: 10.1007/s00586-006-0064-5
32. *Jin LY, Lin J*: [Influence of dental metallic materials on MR imaging]. *J Zhejiang Univ Med Sci* 2009; 38(3): 328-332. doi: 10.3785/j.issn.1008-9292.2009.03.018
33. *Muranaka H, Horiguchi T, Ueda Y, Usui S, Tanki N, Nakamura O*: Evaluation of RF heating on hip joint implant in phantom during MRI examinations. *JPN J Radiol Technol* 2010; 66(7): 725-733. doi: 10.6009/jjrt.66.725
34. *Ayyıldız S, Kamburoğlu K, Sipahi C, Murat S, Görgülü S, Pişkin B*: Radiofrequency heating and magnetic field interactions of fixed partial dentures during 3-tesla magnetic resonance imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013; 116(5): 640-647. doi: 10.1016/j.oooo.2013.06.035
35. *Abbaszadeh K, Heffez LB, Mafee MF*: Effect of interference of metallic objects on interpretation of T1-weighted magnetic resonance images in the maxillofacial region. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89(6): 759-765. doi: 10.1067/moe.2000.105942
36. *Bohner L, Hanisch M, Sesma N, Blanck-Lubarsch M, Kleinheinz J*: Artifacts in magnetic resonance imaging caused by dental materials: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol* 2022; 51(6): 20210450. doi: 10.1259/dmfr.20210450
37. *Chockattu SJ, Suryakant DB, Thakur S*: Unwanted effects due to interactions between dental materials and magnetic resonance imaging: a review of the literature. *Restor Dent Endod* 2018; 43(4): e39. doi: 10.5395/rde.2018.43.e39
38. *Masumi S, Nagatomi K, Miyake S, Toyoda S*: Removable magnetic dental attachment that permits magnetic resonance imaging. *J Prosthet Dent* 1992; 68(4): 698-701. doi: 10.1016/0022-3913(92)90389-r
39. National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIH): X-rays. 2022. Dostęp online [11.03.2025]: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/x-rays>
40. *Virko M*: X-ray radiography applications and types. *Medconsonline.com* 2024. Dostęp online [11.03.2025]: <https://medconsonline.com/en/blog/radiography-and-its-types>
41. National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIH): Computed Tomography (CT). 2022. Dostęp online [11.03.2025]: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computed-tomography-ct>

42. Akman F, Oğul H, Turhan MF, Ağrıli CS: Interactions between X-/gamma rays and alloys used in dental braces: A study on theory and simulations, *Radiat Phys Chem* 2024; 215: 111376-111376. doi: 10.1016/j.radphyschem.2023.111376
43. Wrzesień M, Olszewski J: Absorbed doses for patients undergoing panoramic radiography, cephalometric radiography and CBCT. *Int J Occup Med Environ Health* 2017; 30(5): 705-713. doi: 10.13075/ijom.1896.00960
44. Schibilla H, Moores BM: Diagnostic radiology better images – lower dose compromise or correlation? A European strategy with historical overview. *J Belge Radiol* 1995; 78(6): 382-387.
45. Faulkner K, Broadhead DA, Harrison RM: Patient dosimetry measurement methods. *Appl Radiat Isot* 1999; 50(1): 113-123. doi: 10.1016/s0969-8043(98)00031-1
46. Andrade ER, Oliveira ALN, Funcke LN, Souza LHFF, Healy MJF, Vital HC: Potential contribution of selected metallic restorative dentistry materials to X-ray fluorescence. *Radioprotection* 2019; 54(3): 175-179. doi: 10.1051/radiopro/2019023
47. Kotnala RK, Shah J: Ferrite Materials: Nano to Spintronics Regime. W: Buschow KHJ (red.): *Handbook of Magnetic Materials*. Van der Waals-Zeeman Institute, University of Amsterdam; 2015; 23: 291-379.
48. Rasaili P, Sharma NK, Bhattarai A: Comparison of ferromagnetic materials: past work, recent trends, and applications. *Condensed Matter* 2022; 7(1): 12. doi: 10.3390/condmat7010012
49. Koprivica B, Milovanović A, Đekić M: Determination of characteristics of ferromagnetic material using modern data acquisition system. *Serb J Electr Eng* 2024; 6(3): 451-459.
50. Różyło-Kalinowska I, Różyło TK: *Współczesna radiologia stomatologiczna*, Wydawnictwo Czelej, 2015.
51. Grzanka P: Diagnostyczne badania radiologiczne (badania RTG). Mp.pl 2017. Dostęp online [11.03.2025]: https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/174814
52. Griebel AJ, Anttila E, Baker G, Schaffer JE, Gross DC: Magnetic susceptibility of common metals and alloys used in medical devices. *J Test Eval* 2023; 51(6): 20220654. doi: 10.1520/JTE20220654
53. Klinka T, Daboul A, Maron J, et al.: Artifacts in magnetic resonance imaging and computed tomography caused by dental materials. *PLoS One* 2012; 7(2): e31766. doi: 10.1371/journal.pone.0031766
54. Bornstein MM, Scarfe WC, Vaughn VM, Jacobs R: Cone beam computed tomography in implant dentistry: a systematic review focusing on guidelines, indications, and radiation dose risks. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29 Suppl: 55-77. doi: 10.11607/jomi.2014suppl.g1.4
55. Borowicz J, Modzelewska A, Sarna-Boś K, Ropa A: Zastosowanie stopów metali nieszlachetnych w protetyce stomatologicznej. *Nowoczesny Technik Dentystyczny*. Dostęp online [11.03.2025]: <https://technik.elamed.pl/artykul/zastosowanie-stopow-metali-nieszlachetnych-w-protetyce-stomatologicznej/45615#>
56. Queiroz PM, Oliveira ML, Groppo FC, Haiter-Neto F, Freitas DQ: Evaluation of metal artefact reduction in cone-beam computed tomography images of different dental materials. *Clin Oral Investig* 2018; 22(1): 419-423. doi: 10.1007/s00784-017-2128-9
57. Stonier G, Hardee P: MRI safety: MRI and fixed orthodontic appliances. *Br Dent J* 2018; 225(8): 684. doi: 10.1038/sj.bdj.2018.935
58. Elkamash HM, Gaweesh YS, Elsaadawy LM: Efficacy of prosthodontic dental materials in reduction of metallic artifacts in the presence absence of mar tool, *Alex Dent J* 2024; 9(3). doi: 10.21608/adjalexu.2024.248774.1445

59. *Gowda M, Sharma S, Sahoo NK*: MRI compatibility of dental materials. *IJMACR* 2020; 3(4): 19-24.
60. *Starcuková J, Starcuk Z Jr, Hubálková H, Linetskiy I*: Magnetic susceptibility and electrical conductivity of metallic dental materials and their impact on MR imaging artifacts. *Dent Mater* 2008; 24(6): 715-723. doi: 10.1016/j.dental.2007.07.002
61. *Gao X, Wan Q, Gao Q*: Susceptibility artifacts induced by crowns of different materials with prepared teeth and titanium implants in magnetic resonance imaging. *Sci Rep* 2022;12(1): 428. doi: 10.1038/s41598-021-03962-w
62. *Formenti LG*: Interactions between metallic and non-metallic alloys of dental crowns in magnetic resonance imaging: an integrative systematic review, CESPU repository 2022. Dostęp online [11.03.2025]: https://repositorio.cespu.pt/bitstream/handle/20.500.11816/4054/MIMD_DISSERT_22171_Lorenzo.Giuseppe.Formenti.pdf?sequence=1&isAllowed=y
63. *Destine D, Mizutani H, Igarashi Y*: Metallic artifacts in MRI caused by dental alloys and magnetic keeper. *J Prosthodont Res* 2008; 52(2): 205-210. doi: 10.2186/jjps.52.205
64. *Behr M, Fellner C, Bayreuther G, et al.*: MR-imaging of the TMJ: artefacts caused by dental alloys. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1996; 4(3): 111-115.
65. *Shellock FG, Morisoli S, Kanal E*: MR procedures and biomedical implants, materials, and devices: 1993 update. *Radiology* 1993; 189(2): 587-599. doi: 10.1148/radiology.189.2.8210394
66. *Davis PL, Crooks L, Arakawa M, McRee R, Kaufman L, Margulis AR*: Potential hazards in NMR imaging: heating effects of changing magnetic fields and RF fields on small metallic implants. *AJR Am J Roentgenol* 1981; 137(4): 857-860. doi: 10.2214/ajr.137.4.857
67. *Eichner K*: Applications of metal alloys in dentistry – a review. *Int Dent J* 1983; 33(1): 1-10.
68. *Roberts HW, Berzins DW, Moore BK, Charlton DG*: Metal-ceramic alloys in dentistry: a review. *J Prosthodont* 2009; 18(2): 188-194. doi: 10.1111/j.1532-849X.2008.00377.x
69. *Ozawa E, Honda EI, Parakonthon KN, et al.*: Influence of orthodontic appliance-derived artifacts on 3-T MRI movies. *Prog Orthod* 2018; 19(1):7. doi: 10.1186/s40510-018-0204-6
70. *Olt S, Jakob PM*: Contrast-enhanced dental MRI for visualization of the teeth and jaw. *Magn Reson Med* 2004; 52(1): 174-176. doi: 10.1002/mrm.20125
71. *Różyło-Kalinowska I, Walawska B, Predko-Engel A, Jurkiewicz E, Urbanik A*: 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). *J Stomatol* 2019; 72(1): 1-3. doi: 10.5114/jos.2019.86484
- Zaakceptowano do druku: 18.09.2025 r.
Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.
© Zarząd Główny PTS 2025.