

IMPLANTY METALOWE A ASPEKT BEZPIECZEŃSTWA PACJENTA W BADANIU REZONANSU MAGNETYCZNEGO (MR)

Damian Krzeszowiec

Zakład Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego im. Prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach

1. WSTĘP

Rozwój medycyny w ostatnich latach przyczynił się do znacznego wzrostu standardu opieki nad pacjentem, szybszej i dokładniejszej diagnostyki, stosowania terapii celowanej na indywidualny przypadek medyczny, jak i prewencji chorób poprzez różne programy profilaktyczne, czy też akcje podnoszące świadomość społeczeństwa. Ciągły rozwój techniczny metod diagnostyki obrazowej, w tym Rezonansu Magnetycznego (MR), przyczynił się do polepszenia jakości badań z jednoczesną poprawą komfortu pacjenta. Instalacja nowych systemów MR znacząco zwiększyła dostępność badań rezonansu magnetycznego, ułatwiając choremu proces diagnostyki i przyspieszając wdrożenie procesu terapeutycznego. Bezdyskusyjnie taki stan rzeczy jest zjawiskiem pożądanym, jak również niebezpiecznym, biorąc pod uwagę niski poziom wiedzy czy też doświadczenia personelu medycznego, związanego z oddziaływaniem silnego pola elektromagnetycznego (PEM). Zgłębiając temat, można odszukać wiele doniesień o przypadkach, gdzie pacjent został „profilaktycznie” zdyskwalifikowany z powodu nie mającego żadnego wpływu na bezpieczeństwo pacjenta, metalowego elementu.

Z drugiej zaś strony występowały również sytuacje, w których brak podstawowej wiedzy, doświadczenia, czy też nieuwaga personelu, doprowadziły do tragicznego w skutkach finału. Niniejsza praca ma na celu usystematyzowanie i poszerzenie wiedzy z zakresu bezpieczeństwa elementów metalowych w środowisku silnego pola elektromagnetycznego oraz usprawnienie procesu kwalifikacji pacjenta do badania rezonansu magnetycznego.

2. POLE ELEKTROMAGNETYCZNE

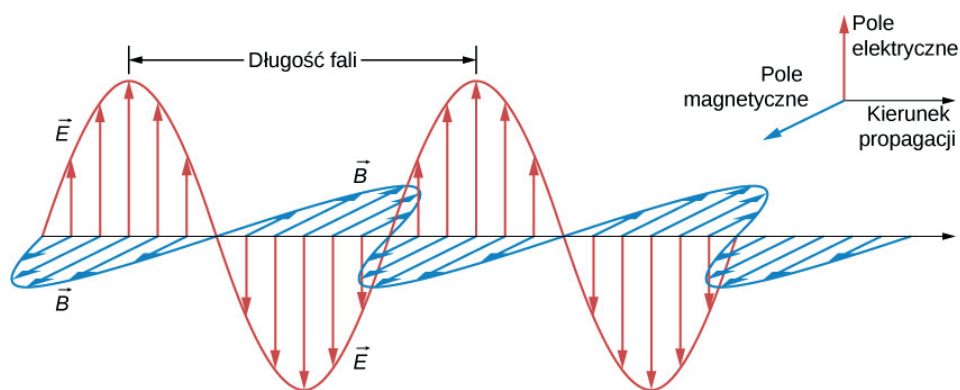
Omawiając aspekt bezpieczeństwa badań MR dotyczący elementów metalowych, należy najpierw przypomnieć sobie podstawowe informacje na temat pola elektromagnetycznego i sposobach jego oddziaływania z materią. PEM jest składową pola magnetycznego i elektrycznego, które są ze sobą ściśle powiązane. Właściwości pól elektrycznych i magnetycznych wynikają z równań Maxwella, których wynika, że:

1. Źródłem pola elektrycznego są ładunki elektryczne.
2. Pole magnetyczne jest bezźródłowe.
3. Zmienne w czasie pole magnetyczne wytwarza wirowe pole elektryczne.
4. Poruszające się ładunki (np. przepływający prąd) oraz zmienne pole elektryczne wytwarzają wirowe pole magnetyczne.^[1]

Podsumowując: Pole magnetyczne jest w stanie wymusić ruch ładunków elektrycznych w materii, a przepływający ładunek elektryczny wytwarza pole magnetyczne. Z powodu tych zależności, silne pole magnetyczne, obecne w warunkach badania MR, doprowadza do powstania prądów wirowych w materii, z którą to pole oddziałuje. W naszym przypadku materią tą jest pacjent, dlatego należy w odpowiedni sposób przygotować go do badania i przeprowadzić proces kwalifikacji, który został omówiony w dalszej części artykułu.



LIFE FROM INSIDE



Rysunek 1. Rozwiązanie równań Maxwella dla fali płaskiej wymusza proporcjonalność pola B do pola E w każdym punkcie, z wzajemnymi kierunkami ukazаныmi na rysunku.

Źródło: <https://cnx.org/resources/bd3d321f0f066605994a38f3f8d19b2ec8516d6f>

Ze względu na sposób oddziaływania z polem elektromagnetycznym, materię możemy podzielić na: diamagnetyczną, paramagnetyczną i ferromagnetyczną.

W materii diamagnetycznej, PEM indukuje powstanie dipola magnetycznego w obrębie atomu/cząsteczki. Utworzony dipol i pole magnetyczne zwrócone są przeciwnie względem siebie, a podatność magnetyczna takiego indywiduum jest ujemna. Przykładem materii diamagnetycznej jest m.in. bizmut, miedź, rtęć, ołów, wodór gazowy, woda. Paramagnetyki charakteryzują się zdolnością do ułożenia równoległego względem linii pola magnetycznego, wywołując efekt lokalnego wzmocnienia pola. Do tej grupy należą np. aluminium, wapń, chrom, magnez, wolfram. Substancje ferromagnetyczne, podobnie jak paramagnetyki, układają się równoległe do zewnętrznego pola magnetycznego. Ze względu na budowę domenową takiej materii, efekt wzmocnienia pola jest znacznie silniejszy niż w przypadku cząsteczek paramagnetycznych. W temperaturze pokojowej takie właściwości posiadają: żelazo, kobalt, nikiel, gadolin, dysproz.

Pole elektromagnetyczne jest falą, a energia takiej fali jest stosunkowo niewielka, dlatego, w przeciwieństwie do promieniowania X, nie jest w stanie jonizować materii, z którą oddziałuje. Przenikając przez substancję, PEM prowadzi do powstania dodatkowych potencjałów elektrycznych i lokalny przepływ prądu elektrycznego. Zjawisko to powoduje wzrost temperatury materii, przez którą płynie ładunek elektryczny, a stopień kumulacji energii w danej tkance opisuje współczynnik SAR (Specific Absorption Rate).

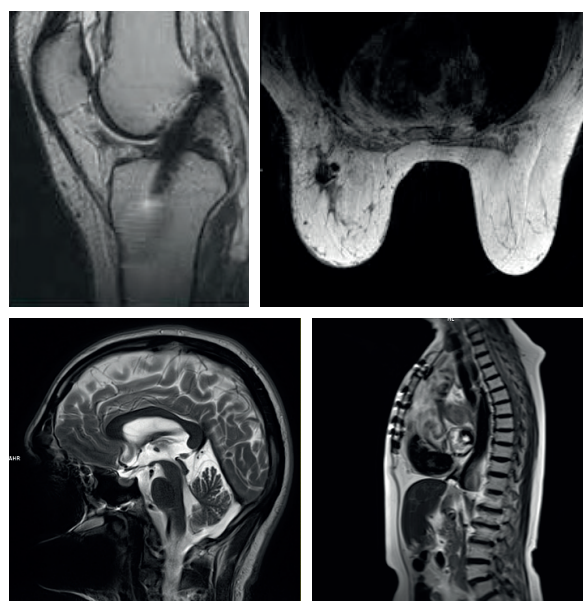
3. IMPLANTY METALOWE A MRI

Oprócz niewątpliwie negatywnego wpływu na jakość obrazów MR, obecność metalowych ciał obcych w obszarze badanym i bezpośrednio narażenie na działanie impulsów RF, może doprowadzić do nagrzewania się i/lub przemieszczenia wszczepów nieprzystosowanych do warunków silnego pola magnetycznego. Z tego powodu należy bardzo starannie przygotować pacjenta do badania i przeprowadzić szczegółowy wywiad związany ze wszelkimi ingerencjami chirurgicznymi w ciało pacjenta. Należy również wykluczyć

obecność metalowych ciał obcych, które przypadkowo znalazły się w ciele np. odłamki metalowych narzędzi, opiłki metali itp.

Podczas procesu kwalifikacji pacjenta do badania MR, powinno się uwzględnić pytania dotyczące:

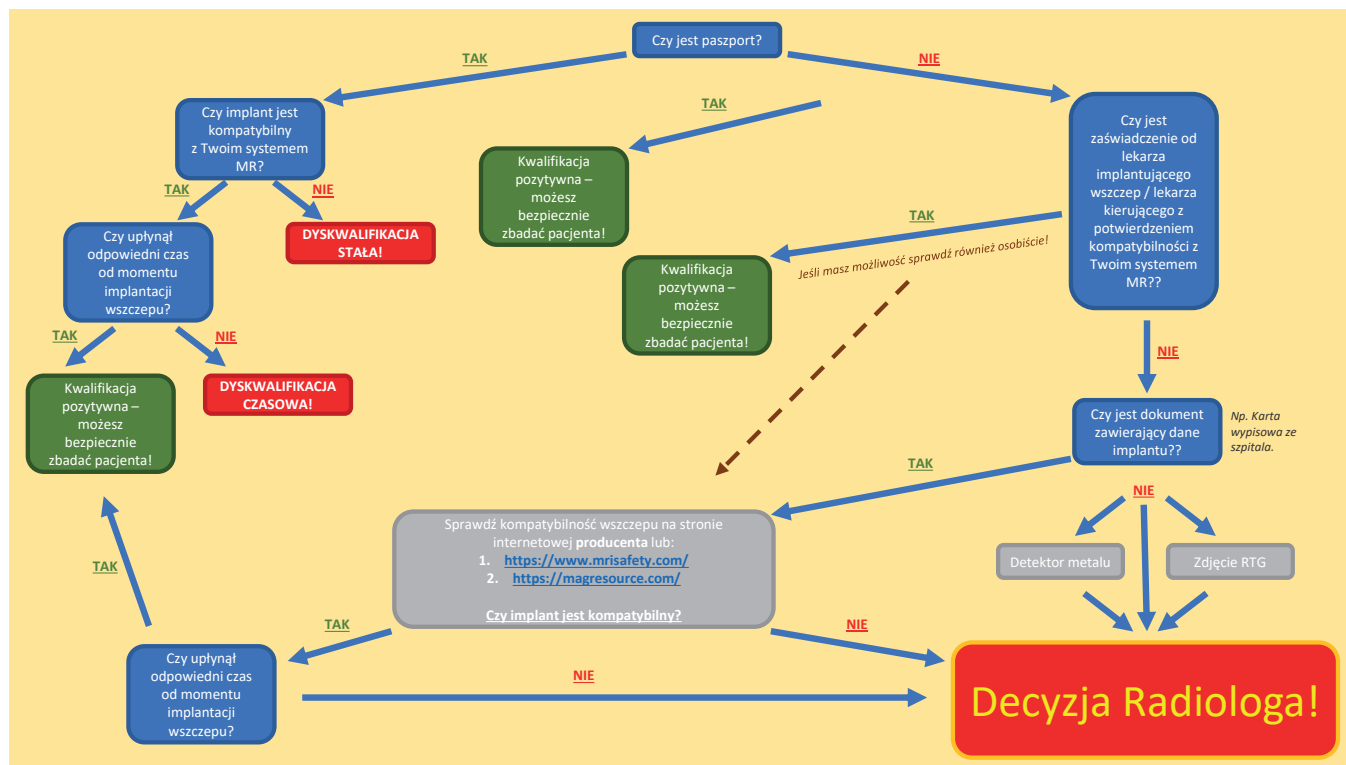
1. urządzeń elektronicznych (tj. rozrusznik serca/kardiowerter, implant słuchowy, neurostymulator, pompa insulinowa oraz inne systemy podawania leków),
2. wszczepów metalowych umieszczonych celowo w ciele pacjenta np. endoproteza, stabilizator kręgosłupa, znaczniki po biopsji lub leczeniu radioterapeutycznym, elementy wszczepione po skomplikowanych złamaniach kości, zabiegach kardiochirurgicznych, naczyniowych, ortopedycznych, stomatologicznych, ginekologicznych,
3. możliwej obecności metalowych ciał obcych, które przypadkowo mogą znajdować się w ciele pacjenta np. odłamki narzędzi, opiłki metali (szczególnie niebezpieczne w okolicy oczodołów),
4. elementów ozdobnych np. kolczyki, tatuaże itp.



Przykładowe obrazy MR z uwidocznionymi artefaktami obrazu, spowodowanymi obecnością elementów metalowych.

W przypadku uzyskania odpowiedzi twierdzącej na którekolwiek pytanie dotyczące obecności elementów metalowych w ciele pacjenta, należy ustalić **rodzaj** wszczepu, jego **pochodzenie**, **czas** jaki upłynął od momentu implantacji i przede wszystkim **materiał** z jakiego jest wykonany oraz jego kompatybilność z aparatem MR. Proces kwalifikacji metalowego implantu został przedstawiony na schemacie poniższej.

W przypadku gdy pacjent nie posiada paszportu lub certyfikatu producenta, można posiłkować się zaświadczeniem (od lekarza wykonującego zabieg implantacji lub lekarza kierującego na badanie) o braku przeciwwskazań do wykonania badania MR. Należy wtedy zwrócić uwagę, czy na zaświadczeniu są podane parametry techniczne przeprowadzonych testów tj. natężenie PEM, wartość i prędkość

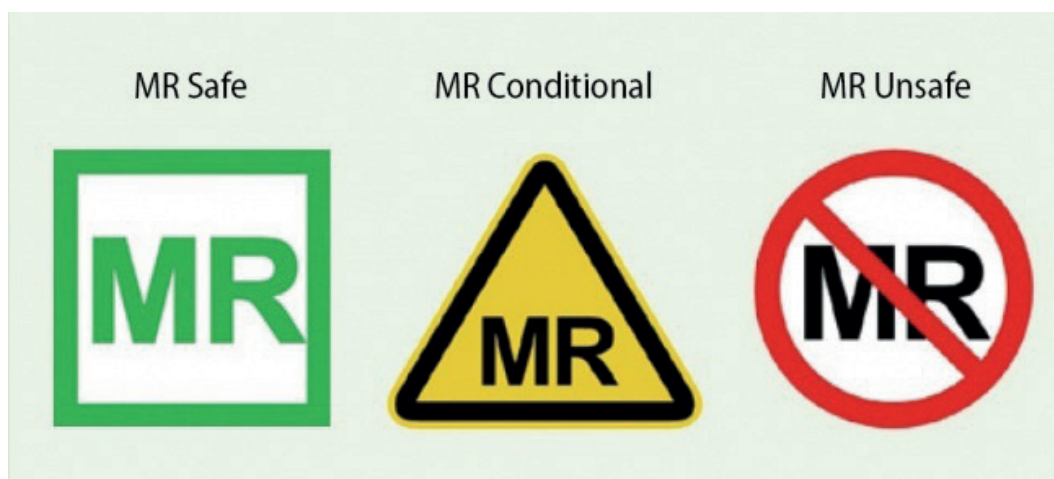


Schemat 1: Proces kwalifikacji implantów metalowych obecnych w ciele pacjenta do badania rezonansu magnetycznego.

Najbardziej skuteczną metodą kwalifikacji implantu do badania MR jest sprawdzenie jego kompatybilności w paszporcie wydawanym przez producenta. Dokument taki zawierać powinien dane identyfikacyjne pacjenta, nazwę implantu zastosowanego w procesie leczenia oraz jego kompatybilność w środowisku silnego pola magnetycznego, a także datę przeprowadzonego zabiegu implantacji. Czas odgrywa tu kluczową rolę, ponieważ nawet w przypadku pozytywnej kwalifikacji materiału wszczepu, badanie może zostać odroczone. Świeżo wszczepione implanty są powodem do czasowej dyskwalifikacji pacjenta. Spowodowane jest to aktywnym procesem gojenia rany po wykonanym zabiegu i histologiczną niestabilnością tkanki okolicy implantu. Okres karencji zależy od indywidualnego przypadku pacjenta (ok. 6 tygodni dla endoprotezy stawu biodrowego, ok. 8 tygodni dla stentów naczyniowych). Wykonanie badania MR przed upływem okresu karencji może dojść do skutku tylko w przypadku, gdy potencjalny zysk z wykonanego badania będzie przewyższał ryzyko z nim związane np. stan zagrożenia życia lub gdy odroczenie badania będzie skutkowało znacznym opóźnieniem lub zawieszeniem procesu terapeutycznego (np. w onkologii).

narastania gradientu przestrzennego itp. Warto zaznaczyć, że dane implantu tj. nazwa modelu, nazwa producenta itd., powinny być zawarte również na karcie wypisowej z pobytu w szpitalu, podczas którego miał miejsce zabieg implantacji. Jeżeli zaświadczenie zawiera wszystkie niezbędne informacje, zalecane jest również ponowne sprawdzenie danego implantu za pomocą ogólnodostępnych platform internetowych, zajmujących się problemem bezpieczeństwa w MRI np. „www.Mrisafety.com”, „www.Magresource.com” itp. Sprawdzając kompatybilność implantu za pomocą platform internetowych lub informacji zawartych bezpośrednio na stronie internetowej producenta, należy wziąć pod uwagę nie tylko wartość statycznego pola magnetycznego (B_0), ale również m.in. wartość i prędkość narastania gradientu przestrzennego, poziom SAR, rodzaj cewek używanych do wykonania badania jak i czas jego trwania. Najczęściej stosowanymi warunkami przeprowadzanych testów są:

- statyczne pole magnetyczne: 3T lub mniej
- gradient przestrzenny: 720 Gauss/cm
- SAR ~ 2W/kg
- czas trwania pomiaru: 15 min.



Rysunek 2: Wzory standardyzowanych oznaczeń bezpieczeństwa implantów, urządzeń w warunkach silnego pola magnetycznego.
Źródło: https://healthcare-in-europe.com/media/story_section_image/702/image-01-image-1488202835-hires.jpg

Po wykonaniu testu, implant otrzymuje jeden z trzech możliwych statusów:

- „Bezpieczny” („MR safe”)
- „Niebezpieczny” („MR unsafe”)
- „Warunkowo dopuszczony” („Conditional”)

Za bezpieczne uznaje się elementy wykonane z takich materiałów jak: Tytan i jego stopy (np. nitinol), stopy chromowo – kobaltowe, stop stali 18-8 (18% chromu + 8% nikiel), złoto, srebro, cyrkon, platyna. Elementów uznanych za niebezpieczne nie możemy umieszczać w warunkach pola magnetycznego, a wszczepy warunkowo dopuszczone badamy tylko wtedy, gdy jesteśmy w stanie przeprowadzić badanie bez przekroczenia warunków z przeprowadzonych na nich testów klinicznych. W przypadku kiedy wszzczep jest przystosowany do wykorzystywanego przez nas aparatu MR oraz upłynął niezbędny czas od momentu zabiegu implantacji, możemy uznać, że pacjent przeszedł pozytywnie proces kwalifikacji do badania MR, mając na myśli aspekt bezpieczeństwa wszczepionego implantu.

4. ZAKOŃCZENIE

Temat metalowych implantów w środowisku silnego pola elektromagnetycznego jest dość rozległy i wbrew pozorom również skom-

plikowany. Wymaga on dodatkowego czasu i wysiłku ze strony personelu medycznego pracowni MR, aby badanie zostało wykonane w sposób dokładny, ale przede wszystkim bezpieczny dla pacjenta. Sam proces kwalifikacji jest procesem złożonym, wymagającym wielopłaszczyznowej weryfikacji, której ostatnim elementem jest lekarz radiolog. To właśnie on, biorąc pod uwagę wszelkie korzyści wynikające z badania MR, jak i ryzyko z nim związane, podejmuje ostateczną decyzję.

BIBLIOGRAFIA

1. Krzysztof Turzyński, Ukryty pęd, deltami.edu.pl, sierpień 2012 [dostęp 2022-11-10]
2. Romuald Litwin: Teoria pola elektromagnetycznego. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1969.
3. Szczepan Szczeniowski: Elektryczność i magnetyzm: podręcznik dla studentów szkół wyższych. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1980
4. Andrzej Januszajtis: Fale. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1991. ISBN 83-01-09708-6.
5. <https://mriquestions.com>
6. <https://www.ismrm.org/>
7. <https://radiopaedia.org/>
8. http://mrisafety.com/TMDL_list.php