

Ekspozymetryczny profil narażenia zawodowego na pole magnetostaticzne przy tomografii rezonansu magnetycznego 1,5 T

Exposimetric profile of occupational exposure to static magnetic field of magnetic resonance scanner of 1.5 T

Jolanta Karpowicz, Krzysztof Gryz

Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel. +48 (22) 623 46 50, e-mail: jokar@ciop.pl

Streszczenie

W pracy scharakteryzowano ekspozymetryczne profile narażenia zawodowego techników i pielęgniarek na pole magnetostaticzne w czasie wykonywania badań diagnostycznych w tomografii rezonansu magnetycznego. Wyniki badań rzeczywistych warunków narażenia wykonanych ekspozymetrem hallotronowym w czasie rutynowych czynności przy badaniach pacjentów omówiono na przykładzie 16 czynności przy tomografii z magnesem 1,5 T. Czas narażenia na pole o indukcji przekraczającej 0,5 mT wynosi przy tych czynnościach 0,5-2,3 minuty, a czas narażenia przekraczającego 70 mT wynosi 0,0-0,3 minuty. Maksymalny poziom narażenia wynosi 16,8-126 mT.

Słowa kluczowe: tomograf rezonansu magnetycznego, narażenie zawodowe, pole magnetostaticzne, badania ekspozymetryczne

Abstract

In this paper, exposimetric profiles of occupational exposures of technicians and nurses to static magnetic fields during performing magnetic resonance imaging examinations, were characterized. Results of examination by hallotron exposimeter of the real exposure of the personell performing 16 tasks in 1,5 T MRI scanner have been presented. Maximal exposure in the static magnetic field exceeding 0,5 mT is in the range 0,5-2,3 minutes and the exposure exceeding 70 mT is in the range 0,0-0,3 minutes. Maximum level of exposure is 16,8-126 mT.

Keywords: MRI scanner, occupational exposure, static magnetic field, exposimetric investigations

Wstęp

Wykorzystanie techniki rezonansu magnetycznego (RM) do diagnostyki obrazowej w tzw. tomografach rezonansu magnetycznego (TRM) związane jest z ekspozycją badanych pacjentów na pole magnetostaticzne (PMS) i zmienne w czasie pola elektromagnetyczne. Magnesy TRM należą do najsilniejszych sztucznych źródeł PMS, przy których poziom pola przekracza poziom naturalnego pola ziemskiego ponad 10 tys. razy. Przygotowanie i przeprowadzenie badania pacjenta związane jest również z narażeniem pracowników, najczęściej techników i pielęgniarek, na pola elektromagnetyczne – na PMS przy każdym badaniu, a na pole zmienne sporadycznie [1, 2]. Pracownicy obsługujący tomografy RM należą do osób

narażonych na najsilniejsze pole PMS występujące w środowisku pracy.

Fizyczne oddziaływanie PMS (przesunięcie i polaryzacja naładowanych elektrycznie cząstek) powoduje skutki elektrodynamiczne w roztworach elektrolitów będących w ruchu (np. w krwi) oraz oddziałuje na spin elektronów biorących udział w reakcjach chemicznych [3]. Zagrożenia dla pracowników wynikające z takich oddziaływań są funkcją poziomu PMS, jakie występuje w otoczeniu magnesów TRM, gdzie wykonywane są czynności zawodowe. W badaniach epidemiologicznych jako miary narażenia na pole elektromagnetyczne wykorzystywane są również wielkości reprezentujące długość narażenia w powiązaniu z jego poziomem [3-5]. Są to tzw. dozy, wskaźniki ekspozycji lub średnie roczne poziomy narażenia. Wobec ograniczonych i niespójnych danych epidemiologicznych, dotyczących m.in. ryzyka chorób nowotworowych i neurodegeneracyjnych, a pochodzących z badań prowadzonych przy bardzo nieprecyzyjnej ocenie poziomu narażenia na PMS, nadal brakuje danych do ustalenia ryzyka zdrowotnego takiego narażenia [3, 6, 7]. Ocena tych zagrożeń jest szczególnie ważna wobec szybkiego rozwoju diagnostyki RM i w związku z tym rozwój technik oceny narażenia zawodowego na PMS jest wymieniony wśród priorytetów badań WHO [5].

Cel badań

Celem prezentowanych badań było opracowanie charakterystyk i ocena narażenia pracowników na PMS w czasie obsługi TRM. Do kluczowych zadań projektu należy opracowanie profili narażenia indywidualnego pracowników wykonujących czynności zawodowe w otoczeniu magnesów. Pomiarów ekspozymetrycznych indywidualnego narażenia pracowników na PMS w czasie wykonywania rzeczywistych obowiązków nie wykonywano w kraju przed realizacją omawianego projektu.

Materiał i metody

Badania skoncentrowano na analizie zmieniającego się dynamicznie w czasie pracy przy TRM narażenia pracowników na PMS, występującego przy wszystkich procedurach diagnostycznych. Pomiar rozkładu pól w otoczeniu magnesów TRM, w miejscach wykonywania przez pracowników zadań, wykonano miernikiem indukcji magnetycznej z izotropową sondą hallotronową o zakresie pomiarowym 0,1 mT–3 T.

Do wykonania badań ekspozymetrycznych indywidualnego narażenia na PMS opracowano metodykę badań umożliwiającą prowadzenie pomiarów w sposób niezakłócający badań pacjentów. Do badań parametrów PMS oddziałującego na pracownika i monitorowania zmienności w czasie poziomu

narażenia indywidualnego, przy wykonywaniu normalnych czynności zawodowych w pobliżu magnesu, wykorzystano zasilany bateryjnie przenośny rejestrator. Hallotronowe czujniki izotropowe rejestratora o zakresie pomiarowym 0,1 mT – 20 T były lokalizowane na klatce piersiowej pracownika. Zmienność PMS oddziałującego na pracownika rejestrowano z częstotliwością próbkowania ok. 6 Hz. Wykorzystano również wywiad z pracownikami na temat charakterystyki wykonywanych przez nich czynności zawodowych.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-T-06580:2002 [8] ocena narażenia pracownika dotyczy pola w miejscu odpowiadającym położeniu osi tułowia i głowy pracownika. Na podstawie wyników pomiarów rozkładu przestrzennego PMS przy prezentowanym TRM przyjęto, że PMS odpowiadające narażeniu w osi ciała pracownika wynosi ok. 70% wyników uzyskanych z badań ekspozymetrycznych na powierzchni klatki piersiowej pracowników. Prezentowane wyniki odpowiadają tej zależności.

Rezultaty

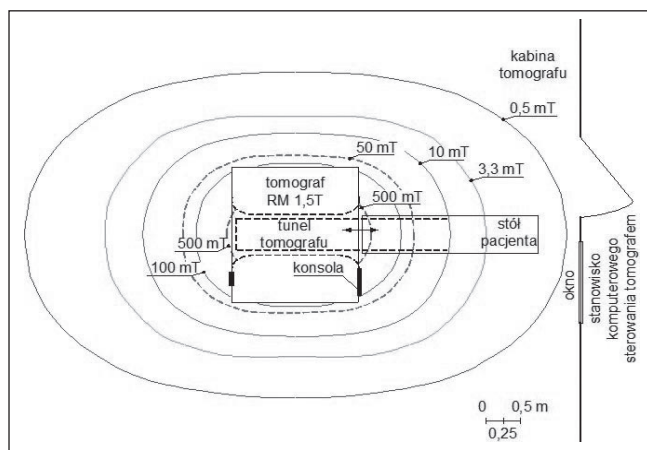
Na podstawie pomiarów indywidualnego poziomu narażenia pracownika na PMS w czasie wykonywania rzeczywistych czynności zawodowych w pobliżu magnesów TRM opracowano charakterystyki narażenia pracowników na PMS, przy wykonywaniu różnych procedur medycznych. Typowe dane z płacówki wykorzystującej TRM z magnesem o indukcji magnetycznej 1,5 T zaprezentowano poniżej.

Pole magnetostaticzne tomografu

Pole magnetostaticzne niezbędne do przeprowadzenia badań pacjentów występuje stale przy tomografach 1,5 T. Jest wytwarzane przez nadprzewodzący magnes, pracujący bez przerw. Magnes TRM umieszczony jest w kabine ekranującej, a w przylegającej sali znajduje się komputerowe stanowisko sterowania badaniami (rys. 1). Na rysunku oznaczono zasięgi stref ochronnych zdefiniowanych przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy oraz obszar kontrolowanego dostępu osób z elektrostymulatorami serca i innymi podobnego typu elektronicznymi wszczepami [7, 9, 10]. Przy obudowie magnesu PMS osiąga poziom ok. 1000 mT. W miejscach najistotniejszych aktywności pracowników (tj. w obszarze od obudowy do odległości ok. 100 cm od niej) PMS charakteryzuje znaczna niejednorodność w przestrzeni – gradient pola dB/dx w tym obszarze jest rzędu 1000 mT/m – rys. 2.

Ekspozymetryczny profil narażenia

Wprawdzie zasięgi PMS, występujące w otoczeniu obudowy magnesów, są uzależnione zarówno od poziomu pola w obszarze, w którym przebywa pacjent, jak i od rozwiązań konstruk-



Rys. 1 Pole magnetostaticzne w otoczeniu TRM z magnesem 1,5 T

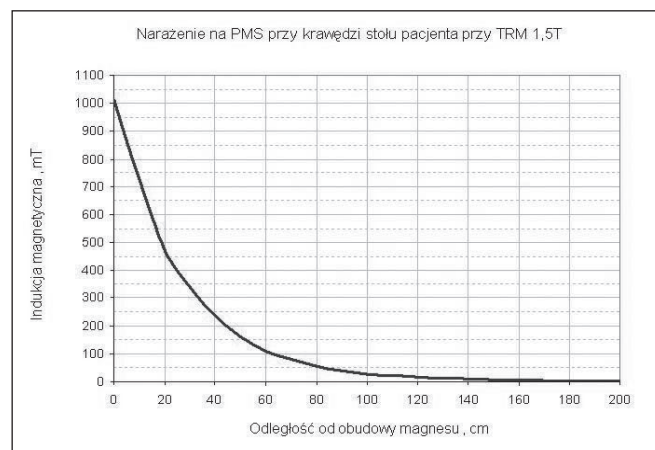
cyjnych zastosowanych w poszczególnych urządzeniach, to prezentowane dane dotyczące przykładowego TRM z magne- sem 1,5 T i warunków jego obsługi, odzwierciedlają sytuację przy różnych urządzeniach tego typu. Czynności wykonywane przy rutynowych badaniach przez pracowników składają się z powtarzających się sekwencji prac wykonywanych przy kolejnych badaniach (tabela 1).

Wewnątrz kabiny tomografu najsilniejsze PMS występują bezpośrednio przy magnesach. Parametry narażenia pracowników na PMS są zależne od potrzeb i stanu zdrowia pacjenta, rodzaju badania, procedur pracy i wyposażenia technicznego poszczególnych TRM.

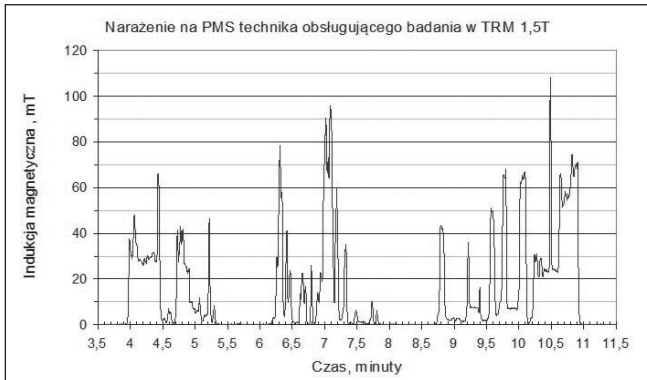
Wszystkie czynności wykonywane w pobliżu magnesu TRM związane są z narażeniem na PMS. W czasie obsługi poszczególnych badań (układanie cewek na stole, układanie pacjenta przed badaniem, zabieranie pacjenta po badaniu, zabieranie cewek ze stołu po badaniu) pracownik może znajdować się w zróżnicowanej odległości od obudowy magnesu, w polach o zróżnicowanej indukcji – zależnie od konstrukcji i wyposażenia tomografu oraz zaleczonego rodzaju badania i użytej cewki diagnostycznej, potrzeb wynikających z zachowania pacjenta i sposobu wykonywania tej pracy – od ok. 30 cm do ok. 110 cm. W wypadku wykonywania czynności bezpośrednio przy magnecie pracownicy mogą być narażeni na pola o indukcji porównywalnej z ekspozycją pacjenta – przy rutynowych badaniach diagnostycznych nie jest to konieczne. Typowa sekwencja zadań związanych z zakończeniem badania, wyprowadzeniem pacjenta z kabiny i przygotowaniem kolejnego badania związana jest z trwającym kilka minut narażeniem na PMS w pobliżu magnesu (rys. 3).

Przed badaniem pacjent układany jest na stole i wraz ze stołem wsuwany jest do tunelu magnesu (czynność F), a po badaniu wysuwany z magnesu (czynność A). Konsola do sterowania położeniem stołu pacjenta umieszczona jest na obudowie magnesu. Sterowanie położeniem stołu można wykonać, znajdując się w odległości wyciągniętej ręki od obudowy magnesu, tj. zależnie od wzrostu pracownika w odległości ok. 60-90 cm [11].

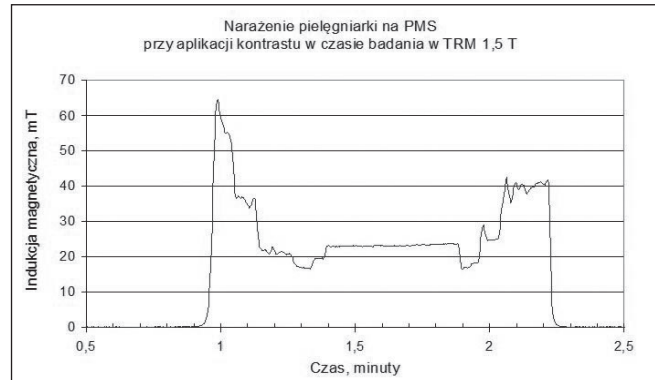
Prawie wszystkie badania wymagają ułożenia na stole cewek diagnostycznych i podłączenia ich do gniazda zasilającego, a wcześniej zabrania ze stołu cewki użytej przy poprzednim badaniu (czynność C). Najbliżej magnesu, w najsilniejszych polach, pracownik przebywa przy układaniu cewek do badania głowy lub kręgosłupa szyjnego (czynności te można wykonać z miejsca oddalonego o 30-100 cm od obudowy magnesu. Przyłączanie kabla zasilającego cewki może być wykonywane z miejsca znajdującego się w odległości ok. 60-80 cm od obudowy magnesu. Przy wykonywaniu kolejnych badań z tą samą cewką diagnostyczną wystarczy podłączyć ją jednorazowo przed wykonaniem serii takich badań.



Rys. 2 Pole magnetostaticzne w obszarze wykonywania rutynowych czynności przy przygotowaniu badania pacjenta w TRM



Rys. 3 Przykładowa rejestracja zmienności PMS oddziałującego na technika przygotowującego pacjenta do badań w tomografie RM 1,5T (sekwencja czynności A-F, wg oznaczeń w tabeli 1)



Rys. 4 Przykładowa rejestracja zmienności PMS oddziałującego na pielęgniarkę podającą kontrast w czasie badania RM (czynność H, wg oznaczeń w tabeli 1)

Tabela 1 Scenariusz typowej sekwencji czynności zespołu pracowników obsługujących rutynowe badania diagnostyczne w TRM

Kolejna sekwencja powtarzanych czynności	Kod czynności [ilość zarejestrowanych profili narażenia na PMS]	Czynności zespołu pracowników	Odległość od obudowy magnesu TRM	PMS w obszarze wykonywania czynności	Czas narażenia na PMS o indukcji przekraczającej 0,5 mT	Czas narażenia na PMS o indukcji przekraczającej 70 mT	Maksymalny poziom narażenia	Uwagi
j-1							
	H _{j-1}	pobyt poza kabiną i kontrola przebiegu badania z konsoli komputerowej						
j	A _j [N1=5]	podejście do magnesu i wysunięcie stołu pacjenta z tunelu magnesu	przy magnecie zwykle 30-100 cm	20-230 mT	0,5-1,5 min	0,0-0,3 min	98 mT	
	B _j	wyjście z kabiny z pacjentem po badaniu	-	-	-	-	-	
	C _j [N2=3]	podejście do magnesu i wymiana cewek diagnostycznych	przy magnecie zwykle 30-100 cm	20-230 mT	1,7-2,0 min	0,15-0,2 min	119 mT	
	D _j	podejście do magnesu i przygotowanie stołu pacjenta do następnego badania	przy magnecie zwykle 60-100 cm	20-70 mT	-	-	-	zwykle połączone z czynnością C lub F
	E _j	wyjście z kabiny po pacjenta						
	F _j [N3=5]	podejście z pacjentem do magnesu, ułożenie go na stole i wsunięcie stołu pacjenta do tunelu magnesu	przy magnecie zwykle 30-100 cm	20-230 mT	1,0-2,3 min	0,0-0,15 min	126 mT	
	G _j w tym czasie emitowane są pola zmienne	pobyt poza kabiną i kontrola przebiegu badania z konsoli komputerowej	poza kabiną ekranowaną zwykle > 3 m	zwykle naturalne pole ziemskie < 0,04 mT	-	-	-	czas trwania typowych badań RM – od 15 minut do 1,5 godziny
	H _j [N4=3]	podejście do magnesu i podanie kontrastu pacjentowi (zwykle po wysunięciu stołu z tunelu magnesu)	przy magnecie zwykle 60-100 cm	20-70 mT	1,3-1,8 min	0,0 min	67 mT	wykonuje pielęgniarka, samodzielnie lub z pomocą technika
	cd. G _j	jw.	jw.	jw.				
j+1	A _{j+1}	podejście do magnesu i wysunięcie stołu pacjenta z tunelu magnesu						
							

Ciemnoszarym tłem wyróżniono czynności, które występują przy wszystkich badaniach. Pozostałe czynności mogą być pominięte, zależnie od rodzaju badania, organizacji pracy i potrzeb pacjentów.



Po założeniu i podłączeniu cewek oraz ustawieniu łóżka z pacjentem w obszarze silnego jednorodnego PMS w magnesie pracownik wychodzi z kabiny ekranowanej. Technicy nie przebywają w pobliżu magnesu w czasie trwania badania – nadzorują badanie ze stanowiska komputerowego sterowania pracą tomografu (czynność G).

W przypadku badań z kontrastem pielęgniarka najczęściej ręcznie aplikuje kontrast pacjentowi po przerwaniu badania i wysunięciu stołu z pacjentem z magnesu (czynność H, rys. 4). W zależności od położenia pacjenta, wkłucie i aplikacja kontrastu do żyły w zgięciu łokciowym lub przy dłoni wymaga zbliżenia się do obudowy magnesu na odległość od ok. 60 cm do ok. 100 cm od magnesu.

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań ekspozymetrycznych rzeczywistych warunków narażenia w czasie rutynowych czynności przy badaniach pacjentów na przykładzie 16 czynności przy tomografii z magnesem 1,5 T. Czas narażenia na pole o indukcji przekraczającej 0,5 mT wynosi przy tych czynnościach 0,5-2,3 minuty (średnia = 1,475, mediana = 1,5), a czas narażenia przekraczającego 70 mT wynosi 0,0-0,3 minuty (średnia = 0,077, mediana = 0,015). Maksymalny poziom narażenia wynosi 16,8-126 mT (średnia = 80,4, mediana = 75,3).

Zwykle w ciągu dnia pracy zespół 1-4 pracowników, techników i pielęgniarek, wykonuje od 10 do 30 badań pacjentów. Szczegółowe harmonogramy pracy uzależnione są m.in. od organizacji placówki diagnostycznej, specyfiki wykonywanych badań, stanu zdrowia pacjentów, rodzaju tomografu.

Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano profil ekspozymetryczny narażenia techników i pielęgniarek na PMS, odpowiadający wykonywaniu najbardziej popularnych zadań przy TRM z 1,5 T magnesem. Badania są kontynuowane, w celu rozpoznania skali zmienności warunków narażenia w różnych placówkach diagnostycznych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że spełnienie formalnych wymagań prawa pracy dotyczących narażenia pracowników na PMS jest możliwe [7, 10] przy właściwej organizacji stanowisk i procedur pracy oraz treningu pracowników, prezentującego sposoby postępowania z pacjentem bez narażenia się na silne PMS. Wyniki badań ekspozymetrycznych mogą być wykorzystane w ramach takiego treningu, a także przy badaniach epidemiologicznych i regularnym nadzorze warunków narażenia na stanowiskach pracy. ■

Autorzy dziękują pracownikom placówek diagnostyki rezonansu magnetycznego za wszechstronną pomoc przy wykonaniu badań ekspozymetrycznych.

Publikacja została opracowana na podstawie wyników programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie projektów badawczych rozwojowych przez Ministerstwo Nauki. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Literatura

1. J. Karpowicz, K. Gryz: *Zagrożenia zawodowe dla personelu medycznego obsługującego rezonans magnetyczny*, Inżynieria Biomedyczna – Acta-Bio Optica et Informatica Medica, vol. 14, 2008, s. 255-257.
2. J. Karpowicz, K. Gryz: *Ekspozycja pracowników obsługujących tomografy rezonansu magnetycznego w aspekcie narażenia zawodowego i bezpieczeństwa pracy*, Inżynieria Biomedyczna – Acta-Bio Optica et Informatica Medica, vol. 14, 2008, s. 326-330.
3. WHO Environmental Health Criteria 232, Static Fields, 2006, <http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/index.html>.
4. WHO Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF), 2007, http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html.
5. WHO Research Agenda for Static Fields, 2006, http://www.who.int/peh-emf/research/smf_research_agenda_2006.pdf.
6. F.S. Prato, A.W. Thomas, A. Legros, J.A. Robertson, J. Modolo, R.Z. Stodilka, J.M. Demoor, W. Huda: *MRI safety not scientifically proven*, Science, vol. 328, 2010, s. 568-569.
7. Serwis internetowy nt. zagrożeń elektromagnetycznych – <http://www.ciop.pl/EMF>.
8. PN-T-06580:2002: *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz*, Arkusz 01, Terminologia; Arkusz 03, Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.
9. American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH): *Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*, 2009.
10. PN-EN 60601-2-33:2003: *Medyczne urządzenia elektryczne, Część 2-33: Szczegółowe wymagania bezpieczeństwa urządzeń rezonansu magnetycznego do diagnostyki medycznej*.
11. PN-90/N-08000: *Dane ergonomiczne do projektowania. Wymiary ciała ludzkiego*.
12. J. Karpowicz, M. Hietanen, K. Gryz: *EU Directive, ICNIRP guidelines and Polish legislation on electromagnetic field*, Jose, vol. 12(2), 2006, s. 125-136.

otrzymano / received: 01.04.2010 r.
zaakceptowano / accepted: 09.09.2010 r.