

Ocena hałasu generowanego przez skanery rezonansu magnetycznego i jego wpływu na narząd słuchu - badania pilotażowe

The evaluation of the noise emitted by magnetic resonance scanners and its influence on the sense of hearing - a pilot study

Leszek Morzyński, Emil Kozłowski, Rafał Młyński, Jolanta Karpowicz

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel. +48 22 623 32 97, e-mail: lmorzyns@ciop.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań hałasu wytwarzanego przez skanery rezonansu magnetycznego o indukcji magnetycznej 1,5 T. Wykazano dużą rozpiętość wartości ciśnienia akustycznego hałasu w zależności od rodzaju badania. Równoważny poziom dźwięku A ($L_{Aeq,Tp}$) zawierał się w przedziale 69,8–96,3 dB, maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) w przedziale 81,4–106,8 dB, a szczytowy poziom dźwięku C w przedziale 98–116,7 dB. Przeprowadzona ocena zagrożenia hałasem pracowników dowodzi, że długotrwałe przebywanie w pobliżu pracującego skanera może powodować przekroczenie wartości dopuszczalnego narażenia i prowadzić do uszkodzenia słuchu.

Słowa kluczowe: skaner rezonansu magnetycznego, hałas, narażenie zawodowe

Abstract

In this paper, the results of examination of acoustic noise, generated by 1,5 T magnetic resonance scanners, are reported. The measurement results showed the wide range of sound pressure level values, depending on the type of examination. The A-weighted equivalent sound level ($L_{Aeq,Tp}$) was in the range of 69,8–96,3 dB, the maximum A-weighted sound level (L_{Amax}) maintained within the range of 81,4–106,8 dB, and the peak C-weighted sound level was in the range of 98–116,7 dB. The assessment of the occupational hazard, resulting from the exposure to the noise revealed that the prolonged contact with an active scanner may result in overcome of the maximum allowable level of exposure to acoustic noise and thus, it may cause the hearing damage.

Key words: magnetic resonance scanner, acoustic noise, occupational exposure

Wprowadzenie

Skanery rezonansu magnetycznego

Skanery rezonansu magnetycznego (S-RM) należą do najważniejszych urządzeń współczesnej medycznej diagnostyki obrazowej. Uzyskanie danych diagnostycznych w S-RM wymaga równoczesnego oddziaływania na pacjenta polem magnetostatycznym i zmiennym polem magnetycznym. Najczęściej S-RM wytwarzają pola magnetostatyczne o indukcji 0,5, 1,0, 1,5 lub 3 T. W Polsce około połowy eksploatowanych obecnie urządzeń to S-RM z nadprzewodzącymi magnesami 1,5 T [1]. Stabilną pracę magnesu nadprzewodzącego umożliwia utrzymanie go w temperaturze bliskiej zeru bezwzględnej dzięki instalacji chłodzonej ciekłym helem.

Informacje diagnostyczne podczas badania uzyskuje się za pośrednictwem impulsowo emitowanego pola magnetycznego (tzw. pola gradientowego) i zmodulowanego impulsowo pola magnetycznego o częstotliwości z zakresu 21–126 MHz (w przypadku S-RM 0,5–3 T).

Impulsy bardzo silnych pól magnetycznych gradientowych wytwarzane są przez wbudowane cewki gradientowe, w których impulsowo przepływa prąd o natężeniach dochodzących do tysięcy amperów. Gwałtowne, tj. w czasie około 0,5 ms, narastanie lub opadanie natężenia impulsowego prądu w cewkach gradientowych powoduje procesy termoplastyczne związane z wytwarzaniem impulsowego hałasu, oddziałującego na pacjentów i personel obsługujący urządzenie.

Zagrożenia związane z oddziaływaniem hałasu na człowieka

Hałas w środowisku pracy jest traktowany jako czynnik oddziałujący niekorzystnie na narząd słuchu [2]. Długotrwałe narażenie na hałas o znacznych poziomach ciśnienia akustycznego prowadzi do trwałych uszkodzeń słuchu objawiających się podwyższeniem progu słyszenia [3, 4]. Pod wpływem hałasu uszkodzeniu ulegają struktury ucha środkowego, przede wszystkim zewnętrzne komórki słuchowe znajdujące się w organie Cortiego, w ślimaku. Uszkodzenia te mogą mieć charakter metaboliczny (przy przedłużającym się narażeniu na hałas następuje trwałe uszkodzenie komórek słuchowych z powodu stresu oksydacyjnego) lub mechaniczny (przy narażeniu na hałas, zwłaszcza hałas impulsowy, o bardzo wysokich poziomach ciśnienia akustycznego, dochodzi do mechanicznego uszkodzenia rzęsek komórek słuchowych) [4]. Rozwój uszkodzeń słuchu jest z reguły procesem stopniowym, długotrwałym i przy braku odpowiedniej profilaktyki medycznej (m.in. okresowych badań słuchu) dostrzeganym dopiero po wystąpieniu większych uszkodzeń. Jednym z pierwszych objawów uszkodzenia słuchu jest pogorszenie zrozumiałości mowy i związane z tym trudności w porozumiewaniu się. Często występują również uciążliwe szumy uszne. Uszkodzenie słuchu może mieć również formę tzw. urazu akustycznego, czyli nagłego uszkodzenia słuchu spowodowanego działaniem hałasu o bardzo wysokim poziomie ciśnienia akustycznego.

Hałas, nawet o stosunkowo niedużych poziomach ciśnienia akustycznego, może utrudniać koncentrację uwagi, wpływając negatywnie na możliwości wykonywania działań precyzyjnych lub koncepcyjnych. Skutkiem tego może być zmniejszenie wydajności pracy lub niewłaściwe wykonywanie czynności [2].

Narażenie pacjentów i pracowników na hałas w placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego

W placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego występują następujące źródła hałasu związanego z pracą S-RM:

- skaner, zwłaszcza cewki gradientowe pracującego w czasie badania skanera (między badaniami to źródło nie jest aktywne),

- instalacja klimatyzacyjno-wentylacyjna zapewniająca chłodzenie magnesu nadprzewodzącego i stałą temperaturę powietrza w kabinie skanera (pracująca nieprzerwanie),
- urządzenia komputerowe sterujące pracą skanera oraz umożliwiające archiwizację i analizę wyników badań (funkcjonujące nieprzerwanie w godzinach pracy).

Hałas S-RM i instalacji klimatyzacyjno-wentylacyjnej wytwarzany jest wewnątrz ekranowanego elektromagnetycznie i akustycznie pomieszczenia. Przy właściwie zaprojektowanej i wykonanej kabinie na stanowisku sterowania pracą skanera jedynym źródłem hałasu są komputery oraz urządzenia podsłuchowe, dzięki którym obsługa może komunikować się z badanym pacjentem.

Przy rutynowych badaniach typowy profil narażenia na hałas przedstawia się następująco:

- w czasie przygotowywania do badania zarówno pacjent, jak i pracownicy narażeni są na hałas generowany przez instalację klimatyzacyjno-wentylacyjną i urządzenia komputerowe,
- w czasie badania (15 min–1,5 godz.), zależnie od rodzaju skanera i złożoności badania, pacjent narażony jest na hałas generowany przez S-RM oraz instalację klimatyzacyjno-wentylacyjną. Pracownicy przebywający poza kabiną mogą być jedynie narażeni na hałas przenikający przez ściany nieprawidłowo ekranowanej akustycznie kabiny skanera oraz hałas emitowany przez pracujące komputery.

Przyjmuje się, że pracownicy nie są narażeni na hałas generowany przez S-RM. Mogą być narażeni jedynie na hałas przenikający z nieprawidłowo wykonanej lub wadliwej instalacji skanera i urządzeń z nim powiązanych. Z tego powodu ocena narażenia na hałas w placówkach rezonansu magnetycznego dotychczas była wykonywana sporadycznie.

Istnieje jednak wiele przyczyn determinujących potrzebę obecności pracowników lub innych osób towarzyszących w kabinie skanera podczas badania, np. w przypadku pacjentów wymagających specjalnej uwagi, m.in. osób cierpiących na klaustrofobię, osób pod narkozą, dzieci, a także w przypadku ręcznej aplikacji kontrastu, badania więźniów wymagających stałego nadzoru służb ochrony itd. W takich przypadkach pacjentowi mogą towarzyszyć pracownicy z obsługi S-RM lub inne osoby – w Polsce często są to członkowie rodzin. Innymi przyczynami obecności osób w kabinie skanera mogą być specjalistyczne procedury medyczne, takie jak biopsja pod kontrolą rezonansu magnetycznego czy rezonans śródoperacyjny, wymagające obecności w kabinie skanera lekarza lub pielęgniarki. Według szacunków Brytyjskiego Stowarzyszenia Radiologów ok. 3% badań rezonansu magnetycznego odbywa się przy obecności osób towarzyszących [5].

Zasadne jest zatem przeprowadzenie oceny parametrów ekspozycji na hałas związanej z diagnostyką za pomocą urządzeń rezonansu magnetycznego oraz zagrożeń dla pracowników i innych osób towarzyszących pacjentom w czasie badania, a także ocena potrzebnych działań profilaktycznych. W pracy zaprezentowano wyniki badań pilotażowych przeprowadzonych w tym zakresie.

Metodyka badań

Badania hałasu wykonywano podczas rzeczywistych, rutynowych badań pacjentów poddanych obrazowaniu za pomocą S-RM o indukcji magnetycznej 1,5 T. Do pomiarów hałasu zastosowano dwa zestawy aparatury pomiarowej. Pierwszy uwzględniał miernik poziomu dźwięku SVAN 948, wyposażony w mikrofon pomiarowy SVAN SV22 wraz z przedwzmacniaczem SVAN SV12L, używany do pomiarów: a) wartości szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}), b) maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}), c) równoważnego poziomu dźwięku A (L_{AeqTp}). Czas pomiaru T_p był równy czasowi badania za pomocą S-RM.

Rejestrowano również zmiany wartości poziomu dźwięku A w funkcji czasu oraz poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych.

Drugi zestaw pomiarowy Brüel&Kjaer Pulse składał się z kasety pomiarowej 3560-C wyposażonej w mikrofon pomiarowy Brüel&Kjaer 4135 z przedwzmacniaczem Brüel&Kjaer 2669 oraz notebook z oprogramowaniem LabShop do systemu Pulse. Aparatura ta posłużyła do rejestracji przebiegów czasowych hałasu generowanego przez S-RM za pomocą modułu Brüel&Kjaer 7701 Pulse Data Recorder. Przebiegi te wykorzystano do analizy parametrów czasowych i częstotliwościowych mierzonego hałasu. Przed wykonaniem pomiarów przeprowadzono wzorcowanie torów pomiarowych kalibratorem Brüel&Kjaer 4230. Mikrofony urządzeń pomiarowych umieszczono z boku S-RM, w odległości ok. 2 m od przecięcia linii znacznika laserowego, na stole pacjenta, tak aby ograniczyć zakłócenia elektromagnetyczne procesu pomiarowego.

Wyniki

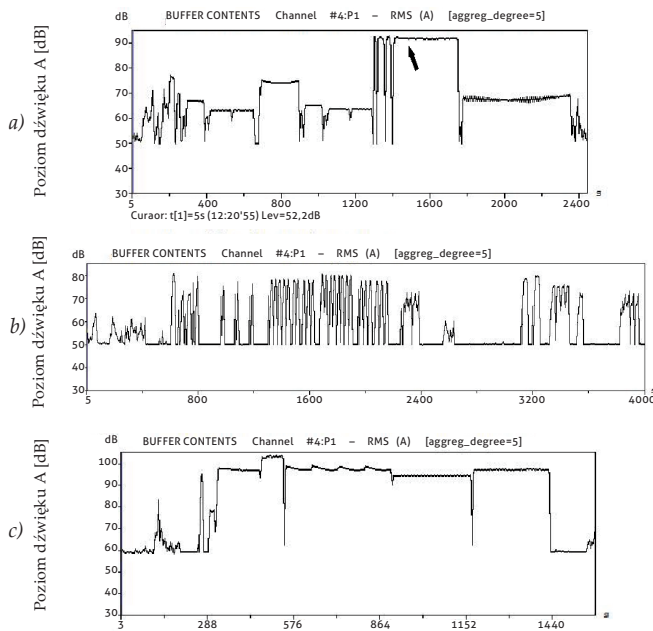
Charakterystyka hałasu zarejestrowanego przy S-RM

Badania pilotażowe wykonano dla trzech różnych 1,5 T aparatów S-RM, używanych w wielu placówkach rezonansu magnetycznego w Polsce. Urządzenia oznaczono jako: S-RM-1, S-RM-2 i S-RM-3, aby uniknąć nieuprawnionego wartościowania urządzeń na podstawie prezentowanych wyników. Wyniki pomiarów hałasu podczas badań głowy, kręgosłupa i serca zamieszczono w tabeli 1 i na rys. 1–4. Wartość maksymalnego poziomu dźwięku A zawierała się w zakresie 69,8–106,8 dB, szczytowego poziomu dźwięku C w zakresie 98–116,7 dB, a równoważnego poziomu dźwięku A w zakresie 69,8–96,3 dB. Badanie trwało od 26 minut 20 sekund do 1 godziny 10 minut i 12 sekund. Profil zmienności poziomu dźwięku A hałasu wytwarzanego przez skanery charakteryzował się znaczną zmiennością zarówno w trakcie badania, jak i między badaniami (rys. 1). W przebiegu zarejestrowanym przy diagnostyce głowy (rys. 1a i 1c) wydzielono przedziały czasu, w których hałas można uznać za prawie stały, przy czym podczas pojedynczego badania poziomy dźwięków A w kolejnych przedziałach czasu mogą być zbliżone (rys. 1c) lub różnić się w zakresie kilkudziesięciu decybeli (rys. 1a). W przypadku innych badań hałas generowany przez skanery może mieć charakter nieregularnie powtarzających się zdarzeń akustycznych o długości pojedynczych sekund (rys. 1b). Ponieważ przebieg i czas trwania poszczególnych etapów badania w S-RM ustalano indywidualnie dla każdego pacjenta, wartości równoważnych poziomów dźwięku A w poszczególnych badaniach różniły się, nawet dla badań tego samego rodzaju.

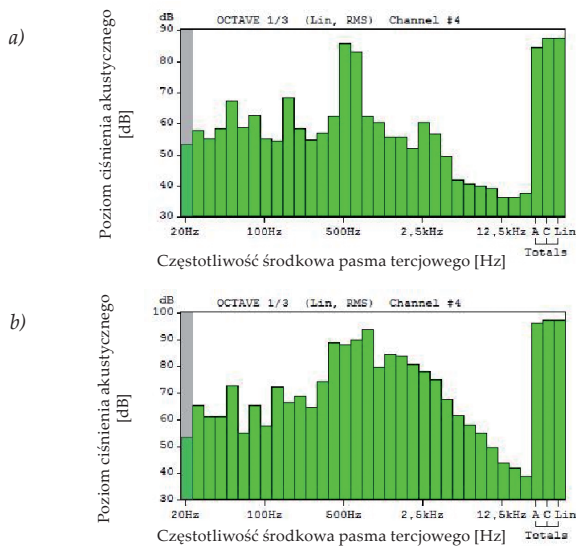
Analizując wyniki badań poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych, obserwuje się skupienie największej części energii akustycznej w zakresie średnich częstotliwości akustycznych w przedziale 400–2000 Hz (rys. 2). W większości zmierzonych poziomów hałasów dominują składowe częstotliwościowe z zakresu pasm tercjowych o częstotliwościach śród-

Tabela 1 Wyniki pomiarów hałasu wytwarzanego przez S-RM 1,5T w trakcie badań diagnostycznych

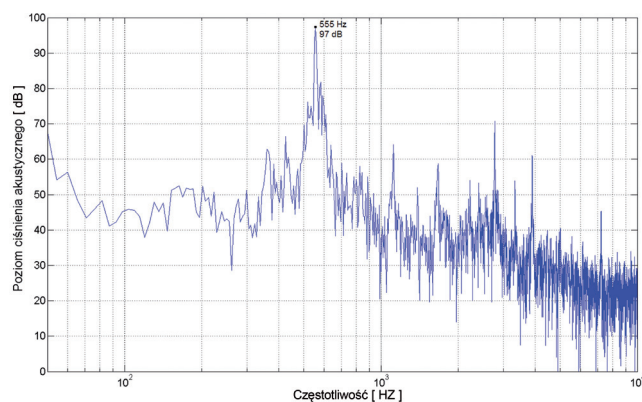
Urządzenie	Nr badania	Rodzaj badania	Czas trwania badania T_p [s]	L_{AeqTp} [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Cpeak} [dB]
S-RM-1	1	głowa	2440	84,7	93,8	108,1
	2	serce	4212	69,8	81,4	102,1
S-RM-2	3	kręgosłup – odcinek lędźwiowy	3367	88,1	93,9	106,1
S-RM-3	4	głowa z kontrastem	2320	94,7	106,8	116,7
	5	głowa	1580	96,3	104	115



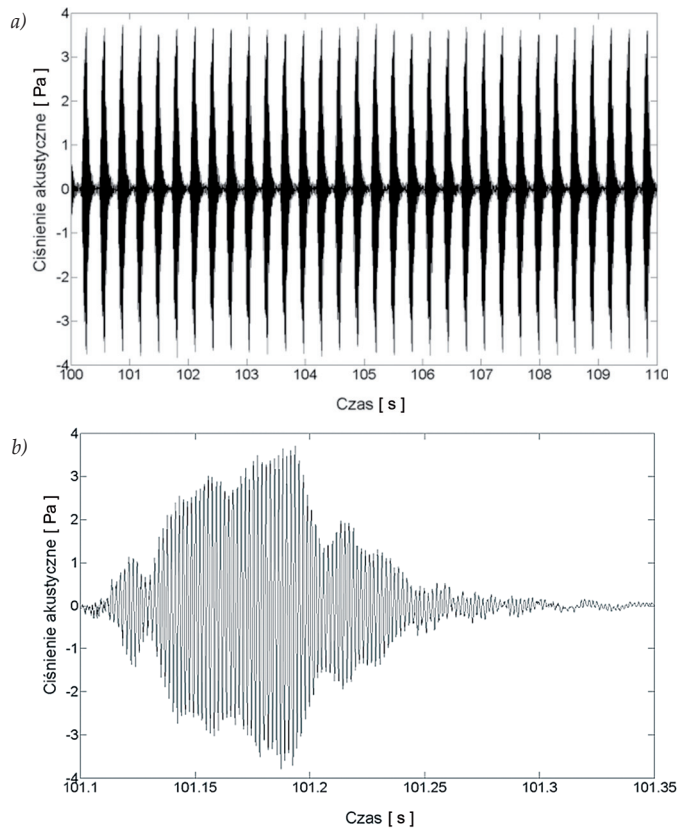
Rys. 1 Zmiany poziomu dźwięku A w funkcji czasu, w trakcie badania: **a)** głowy (S-RM-1, badanie 1), **b)** serca (S-RM-2, badanie 2), **c)** głowy (S-RM-3, badanie 5)



Rys. 2 Poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych hałasu emitowanego przez skaner w trakcie badania głowy: **a)** S-RM-1, badanie 1, **b)** S-RM-3, badanie 5



Rys. 3 Widmo hałasu dla odcinka czasu odpowiadającego wycinkowi pomiarów wskazanemu na rys. 1a strzałką



Rys. 4 Przebiegi czasowe zmian ciśnienia akustycznego sygnału zarejestrowanego w trakcie pomiarów (S-RM-1, badanie nr 1) odpowiadające wycinkowi pomiarów wskazanym na rys. 1a strzałką: seria paczek impulsów (a) oraz szczegóły paczki impulsów (b)

kowych 500 i 630 Hz. Rysunek 3 przedstawia widmo hałasu wytwarzanego przez skaner w przedziale czasu, dla którego odnotowano najwyższe poziomy dźwięku A, co odpowiada fragmentowi wykresu wskazanemu na rys. 1a strzałką. Dominująca składowa hałasu w tym przedziale czasu charakteryzuje się częstotliwością 555 Hz (rys. 2). Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi czasowe sygnału akustycznego zarejestrowane w czasie odpowiadającym pomiarom wskazanym na rys. 1a strzałką. Sygnał ten składa się z wielu trwających 0,15 s paczek impulsów, powtarzających się cyklicznie co ok. 0,3 s (rys. 4), odpowiadających pojedynczym impulsom prądu zasilającego cewki gradientowe.

Ocena zagrożenia hałasem w pracowniach rezonansu magnetycznego

Oceniając zagrożenie hałasem w środowisku pracy, należy porównać wartości zmierzonych lub wyznaczonych wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy z ich wartościami dopuszczalnymi, a także z wartościami tzw. progów działania. Do oceny narażenia pracowników zdefiniowane są trzy wielkości charakteryzujące hałas w środowisku pracy [2, 6, 7]:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) lub przeciętnego tygodniowego, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy ($L_{EX,w}$),
- maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}),
- szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}).

Wartości maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C uzyskiwane są bezpośrednio z pomiarów hałasu. Wartość poziomu ekspozycji na hałas odniesiona do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX,8h}$) wyznaczana jest najczęściej na podstawie jednego lub więcej pomiarów równoważnego (uśrednionego energetycznie) poziomu dźwięku A (L_{Aeq}) zgodnie z zależnością [2, 8, 9]:

$$L_{EX,sh} = L_{Aeq,T_e} + 10 \times \lg \frac{T_e}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

gdzie: L_{Aeq,T_e} – poziom równoważny w dB, wyznaczony dla czasu ekspozycji T_e w sekundach, T_0 – czas odniesienia równy 28800 s (= 8 godz.).

Równoważny poziom dźwięku A może być wyznaczany na podstawie pomiaru w czasie ekspozycji T_e lub obliczany na podstawie kilku pomiarów poziomów równoważnych w wybranych przedziałach czasu T_i krótszych niż czas ekspozycji. Jeśli narażenie na hałas nie jest takie samo w poszczególnych dniach tygodnia, należy zamiast poziomu ekspozycji na hałas, odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX,sh}$) posłużyć się poziomem ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy ($L_{EX,w}$), wyznaczanym zgodnie z zależnością:

$$L_{EX,w} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,sh,i})} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Określone w przepisach wartości dopuszczalne wielkości charakteryzujących hałas dla ogółu pracowników wynoszą [66]:

- $L_{EX,sh,dop}$ ($L_{EX,w}$) = 85 dB,
- $L_{Amax,dop}$ = 115 dB,
- $L_{Cpeak,dop}$ = 135 dB.

W odrębnych przepisach zdefiniowano również wartości dopuszczalne hałasu dla innych grup pracowników, w tym kobiet w ciąży [99]: $L_{EX,sh,dopK}$ = 65 dB, $L_{Amax,dopK}$ = 110 dB, $L_{Cpeak,dopK}$ = 130 dB.

W rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r., w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, zostały zdefiniowane wartości tzw. progów działania dla wielkości charakteryzujących hałas, które wynoszą [10]:

- dla $L_{EX,sh}$ – 80 dB,
- dla L_{Cpeak} – 135 dB.

Po przekroczeniu progów działania pracodawca ma obowiązek dostarczyć pracownikom ochronniki słuchu do dobrowolnego stosowania. Stosowanie ochronników w hałasie, którego poziom odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy przekracza 80 dB (lecz nie sięga jeszcze wartości dopuszczalnej), jest zalecane, ponieważ długotrwałe narażenie na hałas o takich poziomach może prowadzić do uszkodzenia słuchu.

Podczas oceny zagrożenia hałasem należy również zwrócić uwagę na to, czy hałas nie ma charakteru impulsowego. Hałas impulsowy jest szczególnie szkodliwy dla słuchu, gdyż w przypadku tego rodzaju hałasu nie działa naturalny mechanizm obronny narządu słuchu, jakim jest tzw. odruch strzemiączkowy ograniczający przepływ energii akustycznej do ucha wewnętrznego. Ponadto uszkodzenie słuchu w przypadku hałasu impulsowego może wystąpić nawet przy krótkotrwałej ekspozycji.

Pracownicy w trakcie badania z wykorzystaniem S-RM przebywają najczęściej poza pomieszczeniami skanera, gdzie hałas pochodzący od S-RM jest w dużym stopniu stłumiony, ale dodatkowymi źródłami hałasu mogą być komputery, urządzenia odsłuchowe i klimatyzacyjne. Można przyjąć zatem, że poziom dźwięku A w pomieszczeniach obsługi skanera najczęściej nie przekracza 60 dB, co potwierdzają początkowe wyniki rejestracji (rys. 1) reprezentujące poziom hałasu przed rozpoczęciem diagnostyki, i tym samym nie stanowi on zagrożenia dla zdrowia.

Aby na podstawie uzyskanych pomiarów ocenić ewentualne zagrożenie wynikające z narażenia na hałas pracownika, który przebywa w trakcie badania w pobliżu S-RM, należy przyjąć założenia dotyczące rodzaju wykonywanych badań i czasu ich trwania.

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że najwyższa zmierzona wartość maksymalnego poziomu dźwięku A wynosi 106,8 dB, a najwyższa wartość zmierzonego szczytowego po-

ziomu dźwięku C wynosi 116,7 dB. Nie przekraczają one zatem wartości dopuszczalnych ustalonych dla ogółu pracowników. Należy jednak zauważyć, że pomiar tych wartości prowadzony był w odległości ok. 2 m od miejsca, w którym w czasie badania może przebywać pacjent lub towarzyszący mu pracownik. Jeśli osoba obecna przy badaniu będzie znajdowała się w mniejszej odległości od skanera, np. 1 m, można spodziewać się poziomów wyższych o ok. 3–6 dB. Poziomy te nie będą przekraczały wartości dopuszczalnej szczytowego poziomu dźwięku C i maksymalnego poziomu dźwięku A, mogą jednak przekraczać połowę wartości dopuszczalnej maksymalnego poziomu dźwięku A. Przekroczenie połowy wartości dopuszczalnej oznacza konieczność podjęcia działań ograniczających narażenie. Należy się również spodziewać, że w wielu przypadkach zostanie przekroczona wartość dopuszczalna maksymalnego poziomu dźwięku A określona dla kobiet w ciąży.

Bardziej złożona jest ocena zagrożenia wynikającego z długotrwałego oddziaływania hałasu wytwarzanego przez S-RM. Zmierzone wartości równoważnego poziomu dźwięku A osiągają wartości dochodzące do 96,3 dB. Na podstawie zależności (1) można oszacować, że codzienna ekspozycja na hałas nie powinna przekraczać 2128 s, czyli ok. 35 min, aby nie przekroczyć dopuszczalnej wartości poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy (założono, że wyznaczony dla pozostałych okresów czasu równoważny poziom dźwięku A wynosi 50 dB). Aby nie została przekroczona dzienna wartość progu działania wynosząca 80 dB, narażenie na hałas nie powinno trwać dłużej niż 668 s, czyli ok. 11 min. Można zatem stwierdzić, że ekspozycja na hałas pracownika, który codziennie wykonywałby badanie numer 5 (trwające najkrócej z prezentowanych przykładów – 1580 s), nie narazi go na przekroczenie wartości dopuszczalnych, ale będzie na tyle duża, że wskazane jest, aby stosował on ochronniki słuchu.

Parametry hałasu wytwarzanego przez S-RM zależą od rodzaju wykonywanego badania i jego poszczególnych sekwencji, należy się zatem spodziewać, że narażenie pracownika na hałas będzie różne w poszczególnych dniach tygodnia. Z tego względu należy ocenić poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy. Załóżmy, że w kolejnych dniach tygodnia pracownik będzie przebywał w pobliżu skanera w trakcie wykonywania badań oznaczonych w tabeli 1 kolejnymi numerami. W pozostałym czasie pracy równoważny poziom dźwięku A dźwięków oddziałujących wynosi 50 dB. Wyznaczone poziomy ekspozycji na hałas odniesione do 8-godzinnego dnia pracy dla poszczególnych dni miałyby następujące wartości: 74 dB (pracownik przebywa w pobliżu skanera przy jednym badaniu nr 1 w ciągu tego dnia, w trakcie pozostałej części dnia brak narażenia na hałas), 62 dB (badanie 2), 79 dB (badanie 3), 84 dB (badanie 4), 84 dB (badanie 5). Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy wyznaczony z zależności (2) wyniósłby wtedy 81 dB, a zatem przekraczałby wartość progu działania. Zakładając jednak, że pracownik podczas badań przebywałby w bliższej odległości od skanera niż odległość, w której wykonywano pomiary, a rejestrowane poziomy równoważne dźwięku A byłyby o 3 dB wyższe, otrzymalibyśmy poziomy ekspozycji na hałas odniesione do 8-godzinnego dnia pracy wynoszące odpowiednio: 77, 65, 82, 87 i 87 dB. Wyznaczony na tej podstawie poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy wynosi 84 dB, co przekracza wartość progu działania i połowę wartości dopuszczalnej określonej dla tej wielkości. Ekspozycja na taki hałas niesie już ze sobą ryzyko uszkodzeń słuchu i zalecane jest stosowanie ochronników słuchu lub ograniczenie ekspozycji przy użyciu innych środków i metod.

Oceniając zagrożenie związane z hałasem wytwarzanym przez skanery rezonansu magnetycznego, należy również wziąć pod uwagę jego impulsowy charakter. Zagrożenie wynikające z tego rodzaju hałasu może być groźniejsze niż wynikałoby to z oceny przeprowadzonej na podstawie wyłącznie wielkości charakteryzujących hałas.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań pokazują, że poziomy ciśnienia akustycznego hałasu wytwarzanego przez pracujący S-RM w czasie badań diagnostycznych mogą znacznie się różnić: od 69,8 do 106,8 dB. Duża zmienność hałasu powoduje, że dokładna ocena zagrożenia hałasem jest zagadnieniem trudnym. Przedstawione w artykule rozważania wskazują jednak na możliwość poważnego zagrożenia słuchu pracowników znajdujących się w pobliżu pracującego skanera. Wartości maksymalnego poziomu dźwięku A mogą w pobliżu skanera przekraczać połowę wartości dopuszczalnej. Codzienne przebywanie w pobliżu skanera tylko w ciągu jednego badania może prowadzić do przekroczenia wartości progów działania lub nawet wartości dopuszczalnej określonej dla poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy. Z przedstawionych badań i obliczeń można również wywnioskować, że w razie regularnego przebywania przy pracującym S-RM narażenie na hałas przekracza przyjęte wartości dopuszczalne poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy. Niezbędne zatem w takim przypadku jest ograniczenie narażenia indywidualnego na hałas do wartości dopuszczalnej za pomocą odpowiednio dobranych ochronników słuchu lub przez zastosowanie innych metod [11]. Badania pilotażowe wartości maksymalnego poziomu dźwięku A i poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy dowiodły, że nawet krótka ekspozycja może spowodować przekroczenie wartości dopuszczalnych hałasu określonych dla kobiet w ciąży.

Odrębną kwestią są zagrożenia z powodu hałasu dla pacjentów badanych za pomocą S-RM. Są oni narażeni na jednokrotną ekspozycję na hałas trwającą najczęściej od 20 minut do 1 godziny. Jak pokazują wyniki badań, szczytowe poziomy ciśnienia akustycznego we wnętrzu niektórych skanerów mogą dochodzić nawet do 138 dB, co może prowadzić do poważnego zagrożenia słuchu [12]. Należy więc chronić słuch pacjentów, stosując ochronniki słuchu, o ile jest to możliwe ze względu na prowadzone badanie diagnostyczne. Oddziaływanie hałasu na pacjenta jest istotnym problemem w trakcie badań funkcjonalnych: jest czynnikiem nie tylko niekorzystnie oddziałującym na narząd słuchu pacjenta, lecz także utrudniającym interpretację wyników badań ze względu na wspomniane oddziaływanie fizjologiczne. ■

Podziękowania dla pracowników placówek diagnostyki rezonansu magnetycznego za pomoc przy wykonywaniu pomiarów.

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego "Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu – 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. Z. Engel, D. Koradecka, D. Augustyńska, P. Kowalski, L. Morzyński, J. Żera: *Zagrożenia wibroakustyczne*, [w:] D. Koradecka (red.): *Bezpieczeństwo i higiena pracy*, CIOP-PIB, Warszawa 2008.
3. J. Żera: *Percepcja dźwięku przy prawidłowym i uszkodzonym funkcjonowaniu ucha wewnętrznego*, CIOP, Warszawa 2001.
4. M. Śliwińska-Kowalska (red): *Profilaktyka zawodowych uszkodzeń słuchu. Poradnik dla lekarzy*, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź 2010.
5. E.A. Moore, E.D. Scurr: *British Association of MR Radiographers (BAMRR) safety survey 2005: potential impact of European Union (EU) Physical Agents Directive (PAD) on electromagnetic fields (EMF)*, J Magn Reson Imaging, vol. 26, 2007, s. 1303-1307.
6. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2002, nr 217, poz. 1833.
7. PN-N-01307:1994 Hałas – Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
8. PN-EN ISO 9612:2011 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.
9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom, Dz.U. 1996, nr 114, poz. 545.
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318.
11. K. Majchrzycka, A. Pościk (red.): *Dobór środków ochrony indywidualnej*, CIOP-PIB, Warszawa 2007.
12. M.E. Ravicz, J.R. Melcher, N.Y. Kiang: *Acoustic noise during functional magnetic resonance imaging*, J Acoust Soc Am, vol. 108, 2000, s. 1683-1696.

*otrzymano / received: 14.10.2011
wersja poprawiona / revised version: 18.11.2011
zaakceptowano / accepted: 25.11.2011*