

dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: krgry@ciop.pl

Ocena prądu dłoni u pracowników i pól elektromagnetycznych przy fizykoterapeutycznych diatermiach krótkofalowych



Fot. Zuk_sa

W pracy scharakteryzowano zagrożenia elektromagnetyczne związane z obsługą fizykoterapeutycznych diatermii krótkofalowych. Wyniki badań wykonanych przy różnego typu 14 diatermiach z aplikatorami indukcyjnymi i 14 diatermiach z aplikatorami pojemnościowymi wskazują, że pola elektryczne i magnetyczne o częstotliwości 27 MHz o natężeniach ze strefy niebezpiecznej, tj. przekraczające granicę narażenia dopuszczalnego dla pracowników, mogą występować w czasie typowych zabiegów w odległości: pole elektryczne ($E > 200 \text{ V/m}$) - do 60 cm (mediana 45 cm), a pola magnetyczne ($H > 3 \text{ A/m}$) - do 25 cm (mediana 20 cm) od aplikatorów i zasilających je kabli. Dotykanie do aktywnych aplikatorów i zasilających je kabli powoduje w kończynach górnej przepływ prądu elektrycznego (prądu dłoni) o natężeniu przekraczającym wartość graniczną 40 mA (przy dotykaniu do kabli zasilających aplikatory pojemnościowe badanych urządzeń: maksimum 780 mA; mediana 305 mA; minimum 113 mA). Wyniki badań wskazują, że zarówno ocena pierwotnego pola elektromagnetycznego w otoczeniu aplikatorów (zgodnie z obowiązującymi przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy), jak i ocena zagrożeń związanych z prądami dłoni u narażonych pracowników (zgodnie z dyrektywą europejską 2013/35/UE), przemawiają za zakazem zbliżania się bezpośrednio do aktywnych aplikatorów i ich dotykania przez pracowników. Prezentowana ocena zagrożeń elektromagnetycznych nie dotyczy pacjentów poddawanych zabiegom z użyciem diatermii krótkofalowych.

Słowa kluczowe: diatermie fizykoterapeutyczne, pole elektromagnetyczne, prąd kończynowy, prąd kontaktowy, bezpieczeństwo i higiena pracy

An assessment of palm current in exposed workers and electromagnetic fields near physiotherapeutic short-wave diathermies

This paper presents electromagnetic hazards while operating physiotherapeutic short-wave diathermies. Results of investigations of 14 diathermies with inductive applicators and 14 diathermies with capacitive applicators of various types show that during typical treatment electric and magnetic fields of the level exceeding workers' permissible exposure can reach the distance: for an electric field ($E > 200 \text{ V/m}$) up to 60 cm (median 45 cm) and for magnetic fields ($H > 3 \text{ A/m}$) up to 25 cm (median 20 cm) from applicators and their supplying cables. Touching active capacitive applicators and their supplying cables causes in the upper limbs a flow of electric current exceeding the limit level of 40 mA (touching cables supplying capacitive applicators: maximum 780 mA; median 305 mA; minimum 113 mA). The results indicate that following both the assessment of unperturbed electromagnetic fields near the applicators (according to the occupational safety and health legislation currently in force) or the assessment of currents in the body of exposed workers (according to new European Directive 2013/35/EU), it is necessary to prohibit approaching active applicators and touching them. This assessment of electromagnetic hazards does not concern patients who are under treatment by short-wave diathermy.

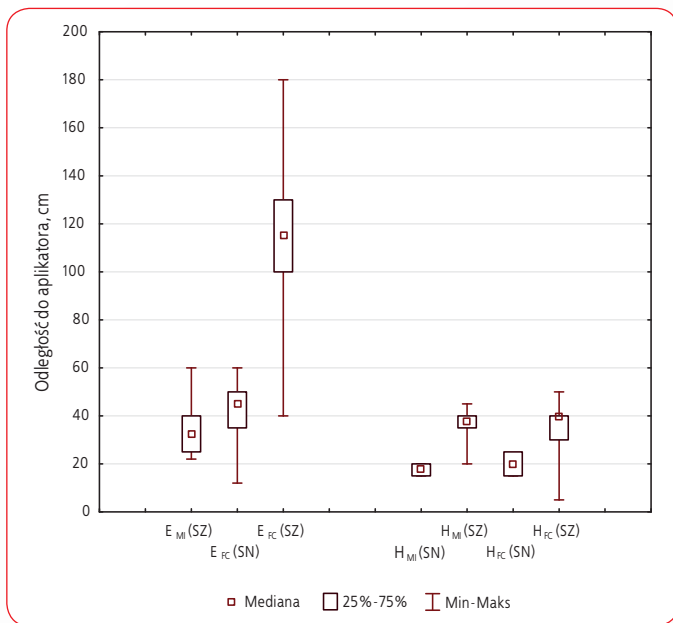
Keywords: physiotherapy, electromagnetic field, limb current, contact current, occupational safety and health

Wstęp

Reakcje organizmu człowieka wywołane różnymi czynnikami fizycznymi, naturalnymi (jak np. promieniowanie widzialne) lub wytwarzanymi przez różnego rodzaju urządzenia wykorzystywane są do leczenia, m.in. dolegliwości bólowych [1].

W organizmie człowieka przebywającego w polu elektromagnetycznym przepływają indukowane lub kontaktowe prądy elektryczne, które mogą wywołać skutki termiczne, tj. wzrost temperatury tkanek wewnątrz lub na powierzchni organizmu, co może prowadzić do ich uszkodzenia termicznego – jednak przy kontrolowanych warunkach aplikacji zjawisko to może być stosowane terapeutycznie [2]. W artykule zaprezentowano badania zagrożeń elektromagnetycznych związanych z przepływem prądów elektrycznych w kończynach pracowników przebywających w polach rozproszonych przy urządzeniach wykorzystywanych do wytwarzania pól elektromagnetycznych celem terapeutycznego ogrzewania tkanek pacjenta (przy tzw. diatermiach krótkofalowych) i dotykających elementów tych urządzeń. Charakterystykę pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez diatermie fizykoterapeutyczne oraz warunków narażenia pracowników omówiono w załączniku.

Skutki termiczne oddziaływania pola elektromagnetycznego są dominujące przy oddziaływaniu pól o częstotliwościach większych od 10 MHz [3,4]. Najistotniejsze skutki termiczne przepływu prądu elektrycznego występują w przewężeniach ciała, tzn. w kończynach (w stawach skokowych, kolanach, nadgarstkach), gdzie jest przewaga tkanki kostnej o gorszej przewodności elektrycznej od tkanki mięśniowej, co zwiększa gęstość prądu przepływającego przez tkankę mięśniową i jej narażenie. W związku z tym ocena poziomu narażenia dotyczy w pierwszym rzędzie natężenia prądu przepływającego w kończynach, szczególnie w przypadku, kiedy pracownik dotyka ręką elementów znajdujących się przy źródłach pól elektromagnetycznych (prąd dłoni) lub przebywa na przewodzącym elektrycznie podłożu (prąd stóp).



Rys. 1. Wyniki pomiarów zasięgów strefy niebezpiecznej (SN) i strefy zagrożenia (SZ) pola elektrycznego (E) lub magnetycznego (H) w otoczeniu aplikatorów diatermii fizykoterapeutycznych: indukcyjnych (MI) lub pojemnościowych (FC)

Fig. 1. Measurement results of the range of dangerous zone (SN) and hazardous zone (SZ) of an electric (E) or magnetic (H) field in the vicinity of inductive (MI) or capacitive (FC) applicators of short-wave diathermies

Ocena tego typu zagrożeń w badaniach naukowych dotyczy prądu elektrycznego mierzono na nadgarstku lub kostce nogi, np. za pomocą miernika indukcyjnego (*clamp-on*), czyli zakładanej na kończynę cewki pomiarowej, w której mierzona jest siła elektromotoryczna, indukowana przez prąd płynący w kończynie [5].

Oddziaływanie bardzo silnych pól elektromagnetycznych i przepływ prądu elektrycznego w organizmie zagrażają pracownikom m.in. tak zwanym poparzeniem radiofalowym. Badania naukowe nie wykluczyły również możliwości negatywnych skutków zdrowotnych ekspozycji przewlekłej [4]. Pola radiofalowe są zaliczane przez Międzynarodową Agencję Badań Nad Rakiem (IARC), działającą pod auspicjami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), do grupy czynników prawdopodobnie rakotwórczych (grupa 2B), [6]. Konieczne jest zatem kontrolowanie i ograniczanie narażenia pracowników.

W krajowych przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy brak jest kryteriów oceny wyników pomiaru prądu elektrycznego, przepływającego w ciele pracownika eksponowanego na pole elektromagnetyczne. Kryteria takie podano w nowej Dyrektywie Europejskiej 2013/35/UE, jednak terminologia i wymagania Dyrektywy dotyczące tego parametru charakteryzującego skutki oddziaływania pola na pracownika nie są jednoznaczne [2]. Prąd ten może być traktowany zarówno jako tzw. prąd kończynowy (prąd w kończynach osoby narażonej na pola elektromagnetyczne o częstotliwości z przedziału od 10 MHz do 110 MHz w wyniku kontaktu z obiektem w polu elektromagnetycznym lub przepływu prądów pojemnościowych

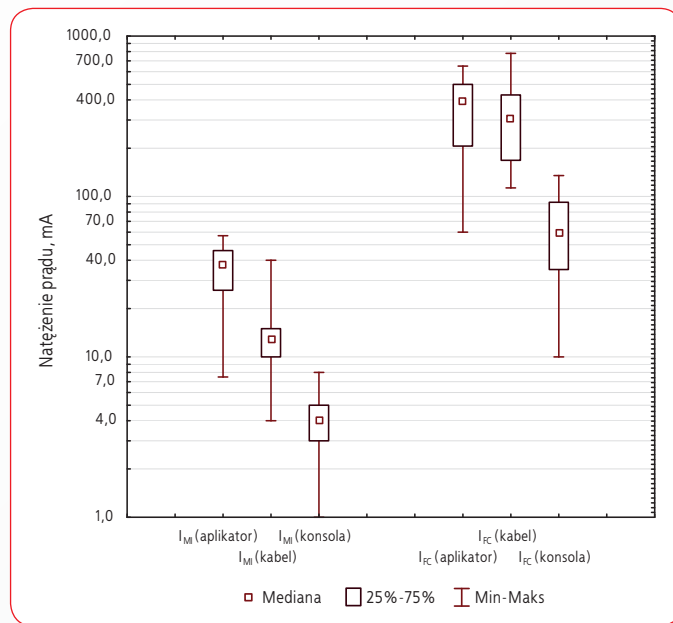
indukowanych w narażonym organizmie), zaliczany do zagrożeń bezpośrednich, jak i tzw. prąd kontaktowy (prąd pojawiający się w przypadku, gdy dana osoba dotyka do obiektu, przebywając w polu elektromagnetycznym), zaliczany do zagrożeń pośrednich [2]. W związku z tym, wobec zastosowania jedynej dostępnej obecnie metody pomiaru miernikiem cęgowym umieszczonym na nadgarstku (omówionej w załączniku), w niniejszym artykule mierzony parametr nazwano prądem dłoni.

Metodyka badań

Narażenie pracowników oceniono na podstawie pomiarów natężenia pierwotnego pola elektrycznego, E , i pola magnetycznego, H , oddziałujących na pracownika [7,8]. Ponieważ wynik takiej oceny jest niemiarodajny, kiedy pracownik przebywa przy urządzeniu stanowiącym źródło pola lub dotyka jego obudowy, wykonano również pomiary prądu dłoni przepływającego w ciele wskutek oddziaływania pola na stanowisku pracy [5,8,9,10].

Kryteria oceny wyników badań przyjęto wg postanowień przepisów bhp [7]. Pola elektryczne o natężeniu $E > 200$ V/m i pola magnetyczne o natężeniu $H > 3$ A/m, w których nie mogą przebywać pracownicy (narażenie zabronione) zwane są polami strefy niebezpiecznej [7]. Wartości 10-krotnie niższe wyznaczają granicę tzw. strefy zagrożenia.

Zgodnie z wymaganiami nowej Dyrektywy Europejskiej 2013/35/UE [2] i zaleceniami międzynarodowymi ICNIRP [3] natężenie prądu, zmierzonego miernikiem cęgowym na nadgarstku pracownika trzymającego głowicę zabiegową



Rys. 2. Wyniki pomiarów wartości skutecznych natężenia prądu dłoni u pracowników przy dotykaniu elementów aktywnych diatermii fizykoterapeutycznych z aplikatorami indukcyjnymi (MI) lub pojemnościowymi (FC)

Fig. 2. Measurement results of root-mean-square value of palm current in workers touching active elements of short-wave diathermies with inductive (MI) and capacitive (FC) applicators

diatermii fizykoterapeutycznej lub dotykającego kabli (natężenie prądu dłoni), powinno być mniejsze od 40 mA [10].

Szczegółowe omówienie metody prezentowanych badań zamieszczono w załączniku.

Wyniki badań narażenia pracowników i ich ocena

W otoczeniu 14 typowych fizykoterapeutycznych diatermii krótkofalowych z aplikatorami indukcyjnymi (typu Phaction Performa+, Curapuls, Thermo, Thermatur) oraz 14 typowych diatermii krótkofalowych z aplikatorami pojemnościowymi (typu Diamat, Curapuls, Cosmogamma, Thermo, Thermatur, Thermopulse), wykonano badania rozkładów przestrzennych pola elektrycznego i magnetycznego oraz natężenia prądu dłoni u pracownika podczas dotykania elementów aktywnej diatermii lub innych obiektów znajdujących się w pobliżu diatermii.

W czasie zabiegu w otoczeniu aplikatorów i przewodów łączących generator z aplikatorami występują silne pola elektryczne i magnetyczne o natężeniach ze stref ochronnych. Zmierzone zasięgi strefy niebezpiecznej (SN) i zagrożenia (SZ) pola elektrycznego (E) i magnetycznego (H) wynoszą (rys. 1.):

- w przypadku aplikatorów indukcyjnych, wytwarzających pola modulowane impulsowo (MI):
 - $E_{MI}(SN)$ nie stwierdzono; $E_{MI}(SZ)$: 33/60 cm (mediana/maksimum)
 - $H_{MI}(SN)$: 18/20 cm; $H_{MI}(SZ)$: 38/45 cm
- w przypadku aplikatorów pojemnościowych, wytwarzających pola o przebiegu ciągłym, tzw. fali ciągłej (FC):

- $E_{FC}(SN)$: 45/60 cm; $E_{FC}(SZ)$: 115/180 cm
- $H_{FC}(SN)$: 20/25 cm; $H_{FC}(SZ)$: 40/50 cm.

Pracownik dotykający dłonią aplikatora lub innych elementów aktywnej diatermii może być narażony na pola SN oraz na oddziaływanie prądu dłoni. Zestawienie wyników pomiarów wartości skutecznej natężenia prądu dłoni u pracownika, dla różnych warunków eksploatacji i obsługi diatermii krótkofalowych pokazano na rys. 2. Wynoszą one:

- dla diatermii z aplikatorami indukcyjnymi przy dotykaniu dłonią:
 - aplikatora – I_m (aplikator): 7,5-57/38 mA, (minimum-maksimum/mediana)
 - kabli zasilających aplikator – I_m (kabel): 4-40/13 mA
 - pulpitu sterowniczego na obudowie generatora – I_m (konsola): 1-8/4 mA
- dla diatermii z aplikatorami pojemnościowymi przy dotykaniu dłonią:
 - aplikatora – I_{FC} (aplikator): 60-650/390 mA
 - kabli zasilających aplikator – I_{FC} (kabel): 113-780/305 mA
 - pulpitu sterowniczego na obudowie generatora – I_{FC} (konsola): 10-135/59 mA.

Prąd dłoni o natężeniu przekraczającym 40 mA zmierzono, kiedy przy aplikatorach i kablach stwierdzono również $E(SN)$ o zasięgu co najmniej 10 cm (tj. najmniejszej odległości pomiarowej od źródła, determinowanej parametrami metrologicznymi użytego miernika). Mniejsze natężenie prądu w kończynach, z podanych na rys. 2. przedziałów mierzono, kiedy pracownik dotykał danego elementu diatermii, stojąc w większej odległości od aplikatora i kabli.

Przy dotykaniu obiektów metalowych znajdujących się w pobliżu diatermii fizykoterapeutycznych, prąd dłoni u pracownika nie przekraczał 40 mA (limit ze względu na ocenę prądu dłoni [10]), a jego natężenie zależało od konfiguracji przestrzennej aplikatora i tych obiektów oraz rodzaju diatermii i ich mocy wyjściowych, a także uziemień i izolacji elektrycznej dotykanych obiektów.

Dyskusja i podsumowanie

Badania natężenia pola elektrycznego i magnetycznego zaliczają się do rutynowych metod oceny środowiska pracy. Badania prądu dłoni u pracownika obsługującego diatermie krótkofalowe można zaliczyć do unikatowych, bowiem niezbędna aparatura jest w dyspozycji nielicznych ośrodków naukowych, a metodyka badań i kryteria oceny nie zostały dotychczas unormowane.

Pole elektromagnetyczne SN może występować w otoczeniu większości aplikatorów fizykoterapeutycznych diatermii krótkofalowych (maksymalnie do ok. 60 cm od aplikatorów – ocena najgorszego przypadku dla pola elektrycznego). Dotykanie elementów diatermii będących źródłem pola może skutkować przepływem prądu dłoni o natężeniu kilkuset mA (w pomiarach stwierdzono wartości do 780 mA), znacznie przekraczające wartość graniczną 40 mA.

Jeżeli prąd ten potraktować jako tzw. prąd kończynowy, to zgodnie z zaleceniami Dyrektywy 2013/35/UE ocenie podlega wartość skuteczna prądu uśredniona w ciągu dowolnych 6 minut [2]. W przypadku potraktowania go jako prądu kontaktowego, nie przeprowadza się uśredniania w czasie natężenia prądu stanu ustalonego nie przeprowadza się [2]. Czas oddziaływania prądów dłoni zależy od czasu trwania czynności wykonywanych przez pracownika dotykającego diatermii. Mało prawdopodobna jest konieczność dotykania jej przez 6 minut lub dłużej, więc podane wyniki pomiarów prądu dłoni należy odnieść do realnego czasu narażenia (pomnożyć przez pierwiastek z ilorazu czasu dotykania diatermii i 6 minut). Jednak należy zaznaczyć, że prądy dłoni o największych zmierzonych natężeniach spowodują nadmierne skutki termiczne w rękę pracownika dotykającego kabli lub aplikatorów (tj. natężenie prądu uśrednione dla dowolnych 6 minut > 40 mA) przy stosunkowo krótkim czasie narażenia, które może wystąpić w rzeczywistych warunkach eksploatacji diatermii z aplikatorami pojemnościowymi (np. przy prądzie o natężeniu 98 mA i czasie dłuższym od 1 minuty lub przy prądzie o natężeniu 139 mA i czasie dłuższym od 0,5 minuty). Te rozważania teoretyczne potwierdza odczucie ciepła w rękę przy takich warunkach narażenia.

Wyniki badań wskazują, że zarówno ocena pierwotnego pola elektromagnetycznego w otoczeniu aplikatorów (zgodnie z obowiązującymi przepisami bhp), jak i ocena zagrożeń związanych z prądami dłoni u narażonych pracowników (zgodnie z nową Dyrektywą 2013/35/UE), przemawiają za zakazem zbliżania się bezpośrednio do aktywnych aplikatorów i kabli zasilających oraz ich dotykania przez pracowników.

Prezentowana ocena zagrożeń elektromagnetycznych nie dotyczy pacjentów poddawanych zabiegom z użyciem diatermii krótkofalowych.

Z uwagi na konieczność przestrzegania wymagań zawartych w przepisach oraz ze względów etycznych niedopuszczalne jest przyjęcie metody pomiarów bezpośrednich przy wykonywaniu rutynowych badań prądu przepływającego w ciele pracownika w ramach okresowego nadzoru nad zagrożeniami środowiskowymi w miejscu pracy. Pomiar takie mogłyby powodować narażenie fizjoterapeutów lub pracowników laboratoriów badawczych na prądy o natężeniach znacznie przekraczające wartości dopuszczalne, określone przez zalecenia międzynarodowe. Niezbędne jest zatem rozwijanie i stosowanie w tym zakresie badań fantomowych.

Pole elektromagnetyczne diatermii krótkofalowych mogą stwarzać też zagrożenie dla pracowników postronnych wykonujących inne zadania oraz dla pacjentów poddawanych w pobliżu innym zabiegom. Poziom rzeczywistego narażenia pracowników zależy jednak w znacznym stopniu od organizacji przestrzennej stanowisk pracy, rodzaju wykonywanych czynności oraz miejsca przebywania w czasie kiedy diatermia jest aktywna i emituje pole elektromagnetyczne.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Robertson V., Ward A., Low J., Reed A. *Fizykoterapia. Aspekty kliniczne i biofizyczne*. Elsevier Urban & Partner, Wrocław, 2009.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 179/1, 2013
- [3] ICNIRP *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. "Health Physics", 1998, 74, 4:494-522
- [4] WHO Environmental Health Criteria 137, *Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz)*, 193, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm>
- [5] Gryz K., Karpowicz J. *Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych*, „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”, 2008, 58, 4:137-171
- [6] International Agency for Research on Cancer (IARC), *Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields*, Lyon, France, 2013, The WHO/IARC, IARC Monographs Volume 102
- [7] 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. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. Dz.U 2002, nr 217, poz. 1833
- [8] PN-T-06580:2002: *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz*. Arkusze 01. Terminologia. Arkusze 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
- [9] Karpowicz J. i in. *Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz-300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2008, 58, 4:7-45
- [10] Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. *Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – ocena ryzyka zawodowego*, „Bezpieczeństwo Pracy”, 2008, 440, 5:16-21

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej (zadanie 04.A.01). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Podziękowania

Autorzy dziękują pracownikom placówek fizykoterapeutycznych za pomoc organizacyjną, a dr. inż. Patrykowi Zradzińskiemu i mgr inż. Wiesławowi Leszko za pomoc przy wykonywaniu prezentowanych badań zagrożeń elektromagnetycznych.

Załącznik

Pola elektromagnetyczne wytwarzane przez diatermie fizykoterapeutyczne

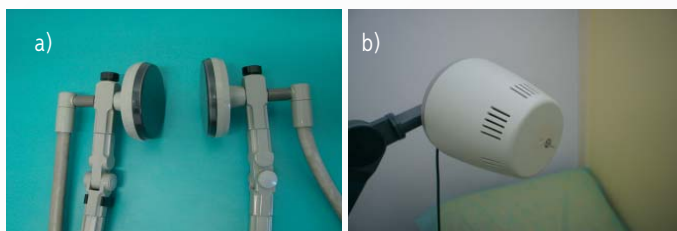
Pierwotnymi źródłami pola elektromagnetycznego, występującego w czasie zabiegów w otoczeniu diatermii krótkofalowych są:

- aplikator (głowica/elektroda zabiegowa lub ich para)
- przewody zasilające, łączące aplikatory z generatorem
- generator (obudowa spełnia rolę ekranu elektromagnetycznego, dlatego jest to źródło znacznie słabszego pola niż aplikatory i kable).

W otoczeniu aktywnych diatermii (emitujących pole elektromagnetyczne w czasie trwania zabiegu) mogą pojawić się również tzw. wtórne źródła pola, np.: metalowe meble, elementy instalacji wodno-kanalizacyjnej lub centralnego ogrzewania, w których pobliżu indukowane są pola o zwiększonym natężeniu.

Czasami diatermie umieszczane są w zaekranowanych pomieszczeniach, co pozwala na ograniczenie zasięgu silnego pola elektromagnetycznego do wnętrza obszaru osłoniętego ekranem. Zarówno metalowe obiekty, jaki i ekrany elektromagnetyczne powodują, że rozkład przestrzenny pola w otoczeniu aplikatorów może być nieregularny.

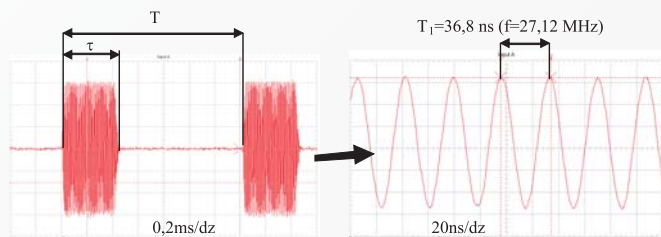
W diatermiach krótkofalowych stosuje się dwa rodzaje aplikatorów zabiegowych: pojemnościowe (kondensatory płaskie sztywne np. o okładkach kołowych o średnicy od ok. 7 cm do ok. 15 cm, kondensatory płaskie miękkie oraz kondensatory specjalnego kształtu) lub indukcyjne (cewka płaska) – rys. Z1a i Z1b. Nagrzewanie ciała pacjenta przy aplikatorach pojemnościowych odbywa się wskutek oddziaływania pola elektrycznego, które indukuje w tkankach przepływ prądu przewodzenia, a przy aplikatorach indukcyjnych wskutek oddziaływania pola magnetycznego, które indukuje w tkankach przepływ prądów wirowych.



Rys. Z1. Przykłady aplikatorów zabiegowych stosowanych w diatermiach fizykoterapeutycznych krótkofalowych: a) pojemnościowy z okładkami sztywnymi okrągłymi; b) indukcyjny (fot. autorzy)

Fig. Z1. Examples of applicators used in physiotherapeutic short-wave diathermies: a) capacitive with circular plates; b) inductive (phot. authors)

Do zabiegów fizykoterapeutycznych stosuje się pola elektromagnetyczne o ściśle określonych częstotliwościach, przypisanych w ramach wykorzystania widma elektromagnetycznego do zastosowań medycznych – najczęściej 27,12 MHz (z zakresu radiowych fal krótkich), o przebiegu sinusoidalnym ciągłym, tj. fali ciągłej (FC) (przy aplikatorach pojemnościowych) lub modulowanym impulsowo (MI) – przebieg kluczowany (przy aplikatorach indukcyjnych), o ściśle zdefiniowanych lub regulowanych przez użytkownika parametrach modulacji (rys. Z2).



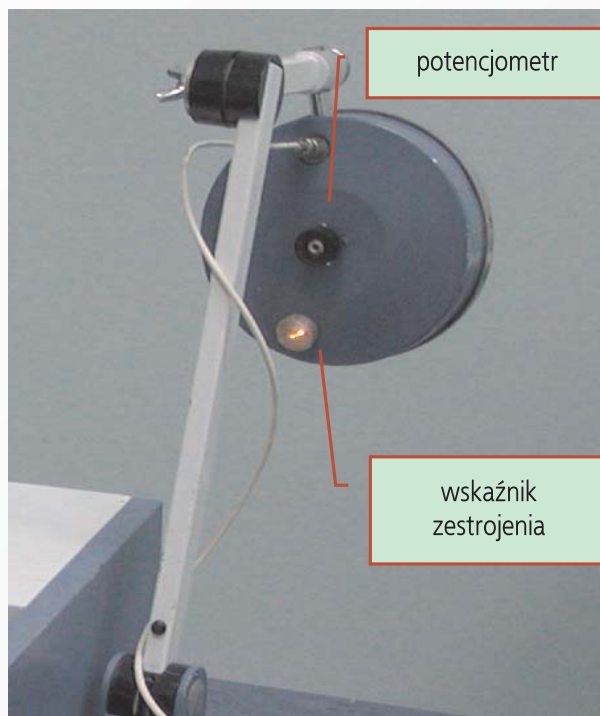
Rys. Z2. Przykładowa rejestracja oscyloskopowa modulowanego impulsowo pola elektromagnetycznego (MI) wytwarzanego przez diatermie fizykoterapeutyczną krótkofalową z głowicą zabiegową indukcyjną (współczynnik wypełnienia sygnału $D = t/T=0,32$)

Fig. Z2. An example of oscillogram of pulse modulated electromagnetic field (MI) emitted by short-wave diathermia with inductive applicator (duty cycle $D = t/T=0,32$)

Charakterystyka czynności zawodowych przy obsłudze diatermii

Obsługa diatermii fizykoterapeutycznych przez fizjoterapeutę polega na ustawieniu przy ciele pacjenta aplikatorów zabiegowych, przyłączonych do generatora za pośrednictwem kabli i wysięgników o długości ok. 1 m, oraz ustawieniu parametrów pola elektromagnetycznego i uruchomieniu jego wytwarzania na pulpicie sterowniczym generatora.

Niektóre z urządzeń wymagają ręcznego zestrojenia przy włączonym polu elektromagnetycznym, za pomocą pokręteł umieszczonych na obudowie generatora lub aplikatora zabiegowego (rys. Z3).



Rys. Z3. Potencjometr i lampka sygnalizująca zestrojenie aplikatora zabiegowego diatermii krótkofalowej (fot. autorzy)

Fig. Z3. The potentiometer and lamp indicating adjustment of the applicator of the short-wave diathermia (phot. authors)

Metodyka badań i oceny zagrożeń elektromagnetycznych przy diatermiach fizykoterapeutycznych

Podstawową metodą oceny zagrożeń elektromagnetycznych w miejscu pracy, stosowaną zgodnie z wymaganiami rozporządzenia ministra pracy w sprawie NDN pól elektrycznych i magnetycznych oraz polskiej normy PN-T-06580:2002 jest ocena narażenia w oparciu o pomiary natężenia pola elektrycznego, E , oraz natężenia pola magnetycznego, H , oddziałujących na pracownika [Z1, Z2]. Narażenie pracowników podlega ocenie na podstawie wartości maksymalnej natężenia pola pierwotnego, tj. zmierzonego pod nieobecność pracownika, w pionie odpowiadającym położeniu osi jego ciała [Z2].

Wynik takiej oceny może być niemiarodajny do oceny zagrożeń pośrednich, kiedy pracownik przebywa przy urządzeniu stanowiącym źródło pola elektromagnetycznego lub dotyka jego obudowy. Takiego rodzaju warunki narażenia mogą wystąpić przy obsłudze aktywnej diatermii fizykoterapeutycznej i dotykaniu jej elementów, np. w czasie zmiany nastaw na pulpicie sterowniczym, strojenia aplikatora, kontrolowania warunków jego pracy lub korygowania ułożenia przy ciele pacjenta (tj. chwytania dłońmi obudowy aplikatora lub zasilającego go izolowanego kabla). Przyczyną zwiększonego zagrożenia są w takich sytuacjach sprzężenia pojemnościowe między ciałem pracownika i źródłem pola, a w konsekwencji przepływ prądów elektrycznych przez ciało pracownika. Prąd o największej gęstości przepływa w partiach ciała znajdujących się przy urządzeniu lub w miejscu dotknięcia do urządzenia.

Konieczność uwzględnienia innych parametrów narażenia pracowników niż natężenia pól oddziałujących na nich, znalazła odzwierciedlenie w PN-

T-06580:2002 [Z2]. Jedną z metod dodatkowej oceny poziomu narażenia mogą być pomiary prądów elektrycznych przepływających w kończynach (tzw. prądów kończynowych lub prądów kontaktowych według Dyrektywy Europejskiej 2013/35/UE) wskutek oddziaływania pola elektromagnetycznego, występującego na stanowisku pracy [Z3]. W związku z tym, wobec zastosowania metody pomiaru miernikiem cęgowym umieszczonym na nadgarstku (omówionej poniżej), w niniejszym artykule mierzony parametr nazwano prądem dłoni. Diatermie fizykoterapeutyczne są również zaliczane do źródeł pól elektromagnetycznych, przy których konieczna jest rozszerzona ocena warunków narażenia pracowników [Z4].

Aparatura

Badania rozkładów przestrzennych pola elektromagnetycznego w otoczeniu diatermii fizykoterapeutycznych zostały wykonane przy wykorzystaniu szerokopasmowego miernika pola elektromagnetycznego typu EMR-300 prod. Narda (Niemcy) z izotropową sondą pola elektrycznego typu 9.2 o zakresie pomiarowym 0,8 – 800 (1300) V/m w paśmie częstotliwości 0,1-3000 MHz oraz z izotropową sondą pola magnetycznego typu 12 o zakresie pomiarowym 0,02 – 16 A/m w paśmie częstotliwości 300 kHz – 30 MHz. Badania wykonywano w trzech ortogonalnych kierunkach od obudowy aplikatorów indukcyjnych lub w dwóch kierunkach od układu aplikatorów pojemnościowych.

Badania wykonano w ramach okresowych badań pól elektromagnetycznych w środowisku pracy. W czasie wykonywania badań jako fantomy ciała pacjenta, poddawane go zabiegom z wykorzystaniem diatermii, stosowano 1,5 litrowe pojemniki z wodą.

Pomiary natężenia prądu w kończynach górnych u osoby dotykającej do diatermii lub innych obiektów (natężenie prądu dłoni) przeprowadzono miernikiem wartości skutecznej natężenia prądu typu HI-3702 prod. Holaday (USA), o zakresie pomiarowym od 0,01 do 1000 mA w paśmie częstotliwości 9 kHz – 110 MHz, wykonując pomiary bez narażenia personelu wizytowanych placówek fizykoterapeutycznych (rys. Z4).

Niepewność omawianych pomiarów zgodnie z wymaganiami nie przekracza 20% [Z2]. Poprawność wskazań mierników sprawdzono w akredytowanym laboratorium wzorcującym CLOP-PIB (certyfikat akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061). Wykorzystując wzorcowe pola elektromagnetyczne modulowane amplitudowo sprawdzono również czułość wykorzystanych przyrządów pomiarowych na pola niesinusoidalne. Wykazano, że przyrządy wskazują wartość skuteczną mierzonych sygnałów, co oznacza że aby na podstawie wyników pomiarów wyznaczyć wartość skuteczną dla pola występującego w czasie trwania impulsów, należy pomnożyć je przez współczynnik korekcyjny K wynoszący:

$$K = D^{0.5} \quad (1)$$

gdzie: współczynnik wypełnienia sygnału (D) dla sygnału kluczowanego (jak na rys. Z2) określa iloraz czasu trwania impulsu (t) i czasu powtarzania impulsów (T).



Rys. Z4. Przykład wykorzystania miernika indukcyjnego (*clamp-on*) do pomiaru prądu dłoni na nadgarstku pracownika dotykającego pulpitu generatora diatermii krótkofalowej Fig. Z4. The example of the use of inductive meter (*clamp-on*) for the measurements of the palm current on the wrist of worker who touches the console of short-wave diathermia generator

Badania wykonano dla ustawień maksymalnych mocy wyjściowych, które zawierały się w przedziale 15-90 W dla mocy uśrednionej w impulsie – w przypadku diatermii z aplikatorami indukcyjnymi i 80-500 W dla mocy ciągłej – w przypadku diatermii z aplikatorami pojemnościowymi. Współczynnik wypełnienia sygnału D , dla mierzzonego pola elektromagnetycznego modulowanego impulsowo, emitowanego przez diatermie z aplikatorami indukcyjnymi wynosił 0,084-0,45.

Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z eksploatacją diatermii fizykoterapeutycznych

Krajowe przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP), określają warunki dopuszczalnego narażenia na pola elektryczne i magnetyczne (rozporządzenie ministra pracy w sprawie NDN) ustalone tak, aby oddziaływanie na pracownika przez okres jego aktywności zawodowej nie skutkowało utratą zdrowia [Z1]. Ograniczenia dotyczące narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne nie dotyczą pacjentów.

Pola elektromagnetyczne o wysokich natężeniach, w których nie mogą przebywać pracownicy (narażenie zabronione), zwane są polami strefy niebezpiecznej (SN), dla której wartości graniczne natężenia pola elektrycznego, E , i magnetycznego, H , wynoszą: $E_2 = 200$ V/m i $H_2 = 3$ A/m [Z1]. Wartości 10-krotnie niższe wyznaczają granicę tzw. strefy zagrożenia. Zgodnie z wymaganiami rozporządzenia w sprawie NDN i PN-T-06580:2002, do określenia zasięgu strefy niebezpiecznej należy wyznaczyć maksymalną w czasie wartość skuteczną (RMS) natężenia dominującej składowej pola (elektrycznej lub magnetycznej) [Z1, Z2]. W razie zmian natężenia pola oddziałującego na pracownika, wynikających ze sposobu wykonywania pracy lub charakteru pracy źródła pola elektromagnetycznego, chronometraż narażenia o poziomie zmiennym w czasie jest podstawą szacowania wskaźnika ekspozycji pracownika w polach strefy zagrożenia (zgodnie z wymaganiami PN-T-06580:2002) [Z2].

Obecnie w polskich przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy brak kryterium oceny narażenia pracowników dotyczących prądów dłoni. Przy realizacji wymagań PN-T-06580:2002 [Z2], dotyczących oceny narażenia przy bezpośrednim kontakcie ze źródłem pola w strefie niebezpiecznej lub zagrożenia pola elektrycznego lub magnetycznego, konieczne jest odwołanie się do zaleceń międzynarodowych. Zgodnie z niejednoznacznymi postanowieniami i terminologią nowej Dyrektywy Europejskiej 2013/35/UE prąd ten może być traktowany zarówno jako tzw. prąd kończynowy (prąd w kończynach osoby narażonej na pola elektromagnetyczne o częstotliwości z przedziału od 10 MHz do 110 MHz w wyniku kontaktu z obiektem w polu elektromagnetycznym lub przepływu prądów pojemnościowych indukowanych w narażonym organizmie), zaliczany do zagrożeń bezpośrednich, jak i tzw. prąd kontaktowy (prąd, który pojawia się w przypadku, gdy dana osoba dotyka obiektu, przebywając w polu elektromagnetycznym), zaliczany do zagrożeń pośrednich [Z3]. Opierając się na wymaganiach nowej dyrektywy europejskiej 2013/35/UE [Z3] i zaleceniach międzynarodowych ICNIRP [Z5] należy zapewnić, aby przy obsłudze diatermii fizykoterapeutycznych natężenie prądu dłoni kontaktowego i kończynowego, zmierzone miernikiem cęgowym na nadgarstku pracownika trzymającego głowicę zabiegową diatermii fizykoterapeutycznej, dotykającego kabli lub stojącego w ich pobliżu, była mniejsza od 40 mA [Z6]. Ze względu na ocenę zagrożeń termicznymi skutkami oddziaływania pola elektromagnetycznego, przy badaniach natężenia prądów kończynowych, ocenie podlega wartość skuteczna (RMS) uśredniona w ciągu dowolnych 6 minut, natomiast w przypadku oceny prądów kontaktowych zmierzona wartość RMS natężenia prądu stanu ustalonego nie jest uśredniana w czasie [Z3, Z5].

LITERATURA

- [Z1] 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. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. DzU 2002, nr 217, poz. 1833
- [Z2] 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
- [Z3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 179/1, 2013
- [Z4] Hansson Mild K., Alanko T., Decat G., Falsperla R., Gryz K., Hietanen M., Karpowicz J., Rosi P., Sandström M. *Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure Assessment Techniques*. "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics" (JOSE), 2009,15,1:3-33
- [Z5] ICNIRP *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. "Health Physics", 1998,74,4:494-522
- [Z6] Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. *Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – ocena ryzyka zawodowego*. „Bezpieczeństwo Pracy”, 2008,440,5:16-21