

KRZYSZTOF GRYZ, JOLANTA KARPOWICZ

ZAGROŻENIA ELEKTROMAGNETYCZNE PRZY ELEKTROCHIRURGII
– OCENA EKSPOZYCJI PRACOWNIKÓW NA POLE
ELEKTROMAGNETYCZNE I PRĄDY INDUKOWANE W ORGANIZMIE

ELECTROMAGNETIC HAZARDS FROM ELECTROSURGERY – ASSESSMENT
OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELD
AND CURRENTS INDUCED IN THE BODY

Centralny Instytut Ochrony Pracy
Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB)
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16
Dyrektor: prof. dr hab. med. D. Koradecka
e-mail: krgry@ciop.pl; jocar@ciop.pl

Przedstawiono warunki ekspozycji personelu sal operacyjnych na pola elektryczne i magnetyczne wytwarzane przez urządzenia elektrochirurgiczne. Wyniki badań dotyczą pól na stanowisku pracy oraz prądów indukowanych w organizmie pracowników przy używanych w Polsce urządzeniach. Przedyskutowano zasady oceny ekspozycji zawodowej oraz wymagania dotyczące metodyki badań na potrzeby takiej oceny.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, prądy indukowane, elektrochirurgia, ekspozycja pracowników

Key words: electromagnetic field, induced currents, electrosurgery, occupational exposure

WSTĘP

Bezpośrednie oddziaływanie pola elektromagnetycznego (pola e-m.) na organizm ludzki powoduje m.in. indukowane wewnątrz ciała pole i prąd elektryczny [3]. Gęstość prądu uzależniona jest od częstotliwości i natężenia pola, w którym przebywa człowiek, rozkładu przestrzennego ekspozycji oraz izolacji elektrycznej ciała od obiektów metalowych. Ze względu na możliwe zagrożenie zdrowia ekspozycja na pole elektryczne (E) i magnetyczne (H) na stanowisku pracy powinna być okresowo kontrolowana i oceniana.

Przy ręcznej obsłudze urządzeń elektrochirurgicznych personel sal operacyjnych i zabiegowych (lekarze, pielęgniarki, instrumentariuszki) jest szczególnie silnie ekspozowany na pola e-m. Badania zostały przeprowadzone w celu rozpoznania charakterystyki ekspozycji pracowników i jej oceny oraz weryfikacji wymagań metodycznych wykonywania pomiarów, niezbędnych do oceny ekspozycji omawianej grupy pracowników.

MATERIAŁ I METODY

Pola elektromagnetyczne wytwarzane przez urządzenia elektrochirurgiczne

Popularnym wyposażeniem gabinetów zabiegowych i bloków operacyjnych są urządzenia elektrochirurgiczne (diatermie chirurgiczne) składające się z generatora oraz dołączonych do niego długimi kablami (ok. 2-3 m) elektrod, czynnej (zabiegowej) i biernej (powrotnej). Ich liczbę w kraju szacuje się na co najmniej kilkanaście tysięcy [2]. Urządzenia elektrochirurgiczne stosowane są do cięcia i koagulacji tkanek [2, 3] wskutek ich przegrzania, spowodowanego przepływem prądu elektrycznego przez żywą tkankę. Prąd przepływa przy kontakcie elektrody czynnej z tkanką lub bezdotykowo, dzięki prądom przesunięcia w powietrzu, jeżeli potencjał elektrody czynnej jest większy od 200 V w stosunku do potencjału odniesienia operowanych tkanek. Przy odpowiednio dużym prądzie i napięciu elektrody czynnej dochodzi do zapalenia przy niej łuku elektrycznego. Potencjał elektrody czynnej oraz jego przebieg w czasie zależą od rodzaju urządzenia i jego trybu pracy. Stosowane są generatory wytwarzające napięcie do kilku tysięcy V, o częstotliwości od 300 kHz do kilku MHz (aby uniknąć pobudzenia nerwów lub mięśni w operowanych tkankach), od sinusoidalnie zmiennego (najczęściej w czasie cięcia) do modulowanego impulsowo (w czasie innych trybów pracy, np. koagulacji „spray”, ryc. 1), o mocy wyjściowej do ok. 500 W (najczęściej w czasie zabiegu 50-150 W) [2].

Pole e-m wytwarzane jest jedynie od momentu załączenia napięcia, niezależnie od tego czy prowadzone jest cięcie, tzn. po naciśnięciu włącznika aplikacji pola – ręcznego, w rękojeści elektrody lub nożnego, ustawionego pod stołem operacyjnym. Źródłami ekspozycji pracowników są:

- przewody łączące generator z elektrodami (czynną, trzymaną przez chirurga i bierną przymocowaną do ciała pacjenta, w celu zamknięcia obwodu elektrycznego dla prądu przepływającego przez operowane tkanki)
- elektroda zabiegowa
- generator w przypadku nieszczelności jego obudowy stanowiącej ekran e-m (np. z powodu zdemontowania lub niewłaściwego zamontowania jego metalowej obudowy)
- obiekty metalowe znajdujące się w pobliżu kabli zasilających elektrody (np. stół operacyjny, stolik narzędziowy, lampa oświetleniowa z metalową obudową), które mogą stać się wtórnymi źródłami pola e-m.

Warunki ekspozycji lekarza-operatora i pozostałych osób zależą zarówno od trybu pracy urządzenia i rodzaju stosowanej elektrody, jak i od sposobu ułożenia kabli łączących elektrody z generatorem. W czasie operacji generator i przewody zasilające elektrody mogą znajdować się w bardzo różnych miejscach względem stołu operacyjnego i osób asystujących przy zabiegu (ryc. 2), co decyduje o poziomie ekspozycji na pole elektryczne oraz o sprzężeniach pojemnościowych między elementami źródła pola a ciałem poszczególnych pracowników i urządzeniami znajdującymi się na stanowisku pracy oraz prądach pojemnościowych przepływających w ciele pracowników, podobnie jak w operowanej tkance pacjenta. Jeżeli kable zasilające elektrody są zwinięte w pętle, występuje przy nich również pola magnetyczne o zwiększonym natężeniu.

Metodyka pomiarów i oceny pola elektromagnetycznego

Pomiary pól e-m. wykonano zgodnie z postanowieniami PN-T-06580:2002 [6], a wyniki oceniano zgodnie z krajowymi przepisami dotyczącymi dopuszczalnej ekspozycji pracowników w polach e-m. Definiują one wartości graniczne tzw. stref ochronnych pola e-m. o częstotliwościach 0 Hz – 300 GHz [7], w których pracownicy zatrudnieni przy źródłach pól mogą przebywać zgodnie z następującymi zasadami:

- w strefie pośredniej przebywanie jest dozwolone w czasie jednej 8-godzinnej zmiany roboczej (dla częstotliwości z pasma 100 kHz -800 kHz są to pola działające na tułów i głowę, o natężeniach odpowiednio $33 \text{ V/m} < E < 100 \text{ V/m}$; $3,3 \text{ A/m} < H < 10 \text{ A/m}$)

– w strefie zagrożenia czas przebywania powinien być krótszy od 8 godzin na dobę, tak aby ekspozycja wynikająca ze specyfiki pracy źródła pola i czynności związanych z jego obsługą nie spowodowała przekroczenia dopuszczalnego wskaźnika ekspozycji, $W < 1$ (odpowiednio $100 \text{ V/m} < E < 1000 \text{ V/m}$; $10 \text{ A/m} < H < 100 \text{ A/m}$)

– w strefie niebezpiecznej przebywanie bez środków ochrony osobistej jest zabronione (odpowiednio $E > 1000 \text{ V/m}$; $H > 100 \text{ A/m}$).

Poza strefami ochronnymi, w tzw. strefie bezpiecznej przebywanie wszystkich osób jest dozwolone bez ograniczeń (odpowiednio $E < 33 \text{ V/m}$; $H < 3,3 \text{ A/m}$). Poziom ekspozycji ocenia się w odniesieniu do tzw. wartości równoważnej natężenia pola, zdefiniowanej jako wartość międzyszczytowa natężenia podzielona przez 2,82 [6]. Sposób obliczania wskaźnika ekspozycji W podano w przepisach i normie [6, 7].

Zasad tych nie stosuje się do ekspozycji pacjentów.

Do pomiaru pola e-m zastosowano szerokopasmowy miernik natężenia pola elektrycznego i magnetycznego EMR 300 prod. *Wandel & Goltermann*, kalibrowany w wartościach skutecznych natężenia pola, z izotropowymi sondami: pola magnetycznego – H-field probe type 13 (0,02-250 A/m; 300 kHz-30 MHz) oraz pola elektrycznego – E-field probe type 8 (1-800 (1600 pik) V/m; 100 kHz -3 GHz). Poprawność wskazań miernika sprawdzono w akredytowanym laboratorium wzorcowych pól e-m CIOP-PIB.

Zgodnie z danymi aplikacyjnymi producenta, niepewność standardowa pomiaru tym miernikiem w rozważanym paśmie częstotliwości wynosi ok. 6,5% w przypadku pomiarów fali ciągłej, a w przypadku pól zmodulowanych w taki sposób jak to występuje przy urządzeniach elektrochirurgicznych – występują dodatkowo błędy systematyczne pomiaru zależne od poziomu mierzonego pola i jego modulacji. W polach o natężeniach rzędu 70 V/m, wskazania przyrządu zależnie od ich modulacji mogą być zaniżone do ok. 50% w stosunku do rzeczywistej wartości skutecznej przebiegu, w polach o natężeniach ok. 200 V/m nie zależą od modulacji pola, a w polach o natężeniach ok. 700 V/m mogą być zawyżone do ok. 50%.

Odnośnie niepewności pomiaru natężenia pola magnetycznego brak szczegółowych danych. Zasada ich pomiaru jest analogiczna, co wskazuje na zbliżone błędy systematyczne przy pomiarze magnetycznych pól zmodulowanych.

Do identyfikacji mierzonego pola zastosowano kalibrowane anteny pola elektrycznego i magnetycznego EMCO oraz oscyloskop cyfrowy.

Metodyka pomiarów i ocena prądów przepływających przez kończyny

Norma PN-T-06580:2002 określa, że *jeżeli obsługa urządzenia wymaga dotykania przez ciało pracownika elementów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola elektrycznego lub magnetycznego, w strefie zagrożenia lub niebezpiecznej, to pomiary natężeń tych pól nie mogą być jedynym kryterium oceny ekspozycji* (p. 3.2.2.). Wymagana jest dodatkowa ocena na podstawie udokumentowanych wyników badań, obliczeń lub ekspertyz, uwzględniających takie warunki ekspozycji. Postanowienia te mają zastosowanie do obsługi urządzeń elektrochirurgicznych. Do uzupełniającej oceny ekspozycji pracowników dotykających do źródła pola e-m można wykorzystać pomiary lub obliczenia prądów przepływających w kończynach.

W trakcie relacjonowanych badań przeprowadzono pomiary wartości skutecznej natężenia prądu przepływającego w rękę pracownika, w której trzymana jest elektroda czynna (miernikiem indukcyjnym Holaday HI-3702) oraz prądu płynącego przez jego stopy (miernikiem pojemnościowym Narda 8850), wg zasad podanych w normie IEEE [5]. Wartości dopuszczalne odnośnie do prądu kontaktowego przepływającego przez rękę (40 mA w paśmie 0,1-110 MHz) podano w dyrektywie 2004/40/WE [1] i zaleceniach ICNIRP [4] a do prądu indukowanego płynącego przez stopy (każdą stopę – 100 mA lub dwie stopy – 200 mA; w paśmie 0,1-110 MHz) – w normie IEEE [5] i zaleceniach ICNIRP [4].

WYNIKI

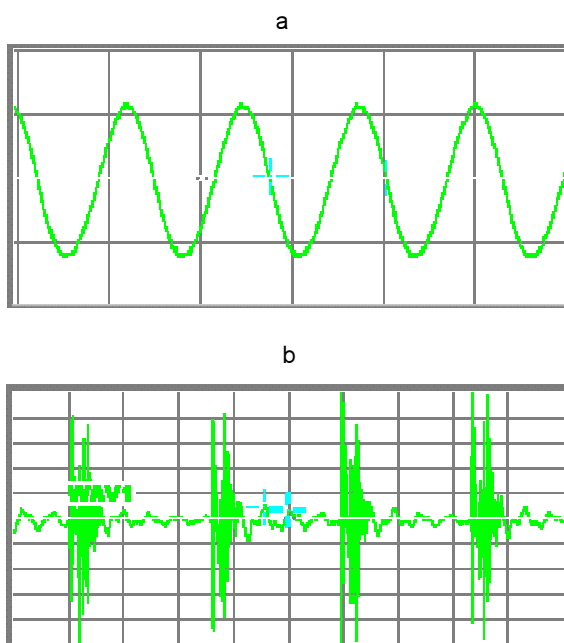
Wyniki pomiarów wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu poszczególnych urządzeń do elektrochirurgii przedstawiono w tabeli I. Pomiar wykonano przy różnych trybach pracy ok. 30 aparatów, najczęściej używanych w krajowych placówkach służby zdrowia. Nastawy wybrane w czasie badań odpowiadają wartościom nieco większym od typowych wartości nastawianych w czasie zabiegów, aby wyniki pomiarów umożliwiały ocenę tzw. najgorszego przypadku ekspozycji pracowników. Badania wykonano przy najbardziej typowej konfiguracji urządzeń – tzn. stół z generatorem ustawiony obok stołu operacyjnego, a kabel zasilający elektrodę zabiegową opuszczone swobodnie pomiędzy aparatem a dłonią operatora (ryc. 2).

Tabela I. Ekspozycja lekarzy-operatorów na pola e-m. przy użyciu różnych trybów pracy urządzeń elektrochirurgicznych, przy mocach nastawianych zwykle w placówkach, w których wykonano pomiary (zależnych od wykonywanych zabiegów)
Surgeons' exposure to electromagnetic fields while various settings of electrosurgery devices are applicable – the output power as usually used in particular hospitals, where the measurements were done (depending on the medical treatment in which particular hospital is specializing)

Rodzaj urządzenia	Natężenie pola elektrycznego, E [V/m]	
	ekspozycja dłoni – maksymalne wartości przy elektrodzie i kablach	ekspozycja głowy i tułowia –maksymalne wartości
Elektroda monopolarna (moc wyjściowa 60-150 W)		
ERBE – ICC z serii 300 i 350	1660	200
ERBE z serii ERBOTOM	920	130
Bovie – z serii CSV-X	670	50
Aesculap – z serii GN	300	20
Bovie – z serii 400	520	55
Valleylab – z serii EZ i FX	1380	80
Valleylab – z serii FORCE	1000	80
Olympus – z serii UES	460	50
Elektroda bipolarna (moc wyjściowa 20-60 W)		
ERBE – ICC z serii 80	80	30
ERBE z serii OPHTHALMOBIPOLARE	10	4
Aesculap – z serii GN	65	10
Valleylab – z serii FORCE	80	20

Objaśnienia: – konfiguracja kabli wg ryc. 2 i 3

- przy pojedynczym kablu natężenie pola magnetycznego zwykle $< 0,5$ A/m, w przypadku zwinięcia kabla w pętle – do kilku A/m, zależnie od ilości pętli
- maksymalne natężenia pól z reguły zmierzono przy zapalonym łuku elektrycznym pod elektrodą czynną



Ryc. 1. Przykładowe oscylogramy zarejestrowane w czasie badań pola e-m. występującego przy urządzeniach elektrochirurgicznych:

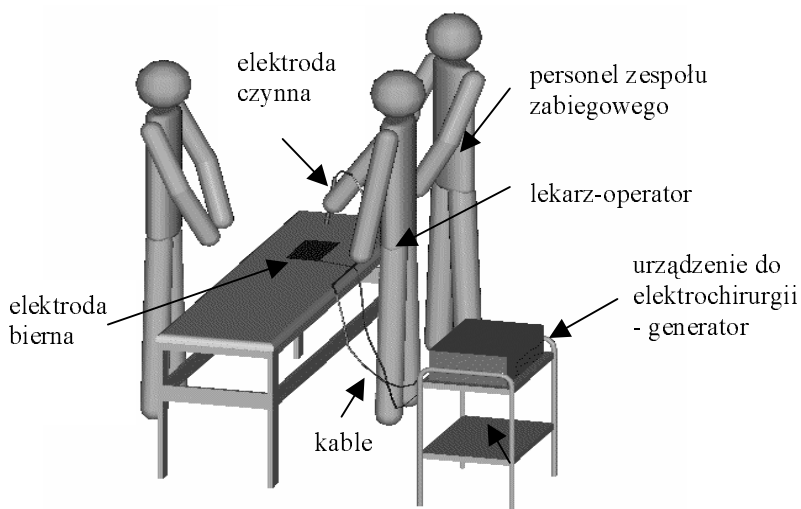
a) Valleylab FX-8/ cięcie,

b) Bovie CSV-X / cięcie

The example of the oscilloscopic registrations of the electromagnetic fields from the electrosurgery devices:

a) Valleylab FX-8 / cut,

b) Bovie CSV-X / cut



Ryc. 2. Przykładowe rozmieszczenie urządzenia elektrochirurgicznego, kabli łączących elektrody i członków zespołu zabiegowego przy stole operacyjnym

The example of typical location of electrosurgery device, cables and medical staff members in the vicinity of treatment table

Ze względów technicznych omawiane pomiary wykonano w czasie symulowanej pracy urządzeń. Jako fantom wykorzystano gaziki nasączone solą fizjologiczną. W przypadku używania elektrod monopolarnych i nieekranowanych przewodów, przy mocy rzędu 100-150 W, w otoczeniu elektrody zabiegowej i przewodów występuje zazwyczaj strefa zagrożenia (do ok. 40 cm) i pośrednia pola elektrycznego (do ok. 70 cm), może też wystąpić strefa niebezpieczna (do ok. 5-10 cm) – ocenione na podstawie wyników pomiarów wartości skutecznej natężenia pola. Nie zanotowano przekroczenia poziomu granicznego strefy pośredniej pola magnetycznego, która może sięgać do 15-20 cm od źródła. Przy mocy mniejszej od 50 W lub użyciu elektrod bipolarnych stwierdzono, co najwyżej występowanie strefy pośredniej pola elektrycznego. Przy obudowie generatora ze skutecznym ekranem występuje jedynie strefa pośrednia pola elektrycznego, o zasięgu do 30 cm od obudowy. Przy innych obiektach metalowych, takich jak stoły czy lampy, pola stref ochronnych występują jedynie jako pola wtórne zaindukowane od znajdujących się przy nich kabli.



Ryc. 3. Przykładowa pozycja lekarza-operatora podczas zabiegu elektrochirurgicznego
The example of the surgeon's posture during electro-surgical treatment

Zależnie od sposobu ułożenia lub przypięcia przewodów zasilających przy ciele chirurga-operatora, silne pole elektryczne może oddziaływać jedynie na dłoń i ramię lekarza, albo również na jego tułów i głowę. Stwierdzono, że na rozkład pola i zasięgi stref mają wpływ metalowe przedmioty znajdujące się w sali operacyjnej – zależnie od ich położenia poziom ekspozycji poszczególnych członków zespołu operacyjnego może zmieniać się około dwu- trzy-krotnie. Jeżeli przewody zasilające ułożone są wzdłuż metalowego stołu operacyjnego, to staje się on wtórnym źródłem oddziałującego na jego otoczenie pola elektrycznego o zwiększonym natężeniu, stając się źródłem ekspozycji wszystkich członków zespołu operacyjnego.

Czas ekspozycji jest istotnie uzależniony od rodzaju prowadzonych zabiegów – od pojedynczych minut w ciągu dnia, do ekspozycji wielogodzinnych w czasie skomplikowanych zabiegów operacyjnych, np. kardiologicznych, kiedy prowadzone są długotrwałe, precyzyjne cięcia i koagulacja tkanek.

Przebiegi wytwarzanych pól elektrycznych oraz wartości natężeń pól elektrycznych i magnetycznych w otoczeniu elektrody zabiegowej i kabli (czyli zarówno występujące

Tabela II. Przykładowa zależność natężenia pola elektrycznego zarejestrowanego przy kablach urządzenia do elektrochirurgii Valleylab FX od jego trybu pracy
The example of the relation between the electric field registered in the vicinity of the cables of the electro surgery device Valleylab FX and the mode of it's operation

Tryb pracy urządzenia	Wartość średnia, [%]	Wartość maksymalna, [%]
Cięcie „pure” – umowna wartość odniesienia	100	232
Cięcie „blend”	138	320
Koagulacja „desiccate”	69	110
Koagulacja „fulgurate”	100	184
Koagulacja „spray”	465	965
Cięcie „pure” z argonem	292	731
Cięcie „blend” z argonem	623	937
Koagulacja „spray” z argonem	820	1683

przy nich strefy ochronne, jak i wskaźnik ekspozycji pracowników) zależą istotnie od sposobu dokonywanego cięcia czy koagulacji. Przykładowe zależności poziomu ekspozycji od trybu pracy zestawiono w tabeli II. W miarę zwiększania głębokości modulacji pola przy różnych trybach pracy, wzrasta również stosunek wartości równoważnej do wartości skutecznej sygnału – przy sinusoidalnej fali ciągłej wynosi 1, natomiast przy głęboko zmodulowanych przebiegach, np. w czasie koagulacja spray z argonem dochodzi do wartości 4. Cięcie lub koagulacja przy zapalonym luku elektrycznym pod elektrodą zabiegową związane są z występowaniem 2- 5-krotnie większego natężenia pola niż w czasie pracy przy takich samych nastawach urządzenia, ale bez zapalenia luku elektrycznego.

Pomiary prądów przepływających przez ciało pracowników wykonano rozpoznawczo przy kilku urządzeniach w kraju i we Włoszech. Przykładowo przy natężeniu pola elektrycznego ok. 70 V/m w odległości 5-10 cm od elektrody monopolarnej, natężenie prądu płynącego w przedramieniu (ryc. 4) wynosi ok. 10 mA. Całkowity prąd przepływający przez stopy pracownika izolowanego od podłoża (w butach), trzymającego elektrodę w ręku w taki sposób, że kabel zasilający nie dotyka jego ciała, nie przekracza wartości 20 mA przy natężeniu pola przy elektrodzie ok. 250 V/m. Wyniki pomiarów prądu indukowanego wskazują, że prąd indukowany mierzony miernikiem indukcyjnym na ręce, w której trzymana jest elektroda zabiegowa jest ok. 2-krotnie większy od prądu przepływający przez stopy, mierzonego miernikiem pojemnościowym.

Ryc. 4. Pomiar prądu indukowanego w przedramieniu chirurga przy zastosowaniu miernika indukcyjnego
The measurement of the current induced in the surgeon's forearm by the use of induction meter



DYSKUSJA

Prezentowane badania są pierwszą w kraju próbą wykonania kompleksowej oceny warunków ekspozycji pracowników przy urządzeniach elektrochirurgicznych. Ocena poziomu ekspozycji pracowników na pole e-m. występujące w otoczeniu tego rodzaju urządzeń w czasie zabiegu jest utrudniona różnorodnością jego cech morfologicznych i nieustalonym położeniem źródła pola, powodującymi że:

- rozkład pola przy źródle jest bardzo niejednorodny, przez co uśrednianie mierzonego pola na powierzchni anteny miernika wnosi błędy pomiaru;
- pomiary bezpośrednio przy kablach wiążą się ze znacznymi bezpośrednimi sprzężeniami anteny miernika ze źródłem, co może zmieniać działanie przetworników pomiarowych miernika i wprowadzać błąd pomiaru;
- zgodnie z ogólnymi zasadami, ocena ekspozycji powinna odnosić się do pola pierwotnego, natomiast w przypadku pól pochodzących od urządzeń elektrochirurgicznych pomiar takiego pola jest często technicznie niemożliwy do wykonania, a w przypadku zasymulowania pracy urządzenia do takich pomiarów ewentualna ocena warunków ekspozycji nie uwzględnia skutków sprzężeń pojemnościowych powodujących przepływ prądów kontaktowych lub indukowanych;
- w odniesieniu do pola elektrycznego podstawą oceny jest wartość natężenia w osi tułowia, natomiast najsilniejsze pola oddziałują na ręce pracownika;
- pomiar pola zmodulowanego miernikiem wartości skutecznej obarczony jest błędami kalibracji w stosunku do pól sinusoidalnie zmiennych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że na stosunkowo silne pola elektryczne ekspozowane są ręce pracowników, kiedy elektroda zabiegowa lub kable trzymane są w dłoniach oraz kiedy kabel zasilający dotyka do ciała, np. do przedramienia. Stwierdzono możliwość wystąpienia zarówno ekspozycji dopuszczalnej (w strefie pośredniej lub zagrożenia, kiedy $W < 1$) jak i niedopuszczalnej (w strefie niebezpiecznej lub, kiedy $W > 1$) wg klasyfikacji podanej w p. 3.3.7 i 3.3.10 Polskiej Normy PN-T-06580-1 [6].

Wyniki wykonanych badań wskazują, że ustawienie urządzenia elektrochirurgicznego obok stołu operacyjnego i opuszczenie kabli zasilających elektrody swobodnie pomiędzy aparatem a dłonią operatora jest skutecznym sposobem zmniejszenia oddziaływania pola elektrycznego na ciało lekarza-operatora, pod warunkiem, że nie opiera się on o nie ciało. Ułożenie kabli na stole operacyjnym również wpływa na zmniejszenie ekspozycji lekarza-operatora, ale znacznie zwiększa ekspozycję pozostałych członków zespołu operacyjnego. Niezbędny jest zatem kompromis, aby osiągnąć zmniejszenie ekspozycji wszystkich pracowników.

Jest to typowy przypadek, kiedy wymagane jest uzupełnienie rutynowej oceny natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, w jakim przebywa pracownik, analizą miar wewnętrznych skutków ekspozycji, m.in. prądów indukowanych i kontaktowych.

Ocena ekspozycji na podstawie pomiarów natężenia pola na stanowisku pracy może być uznana za poprawną odnośnie większości członków zespołu zabiegowego, którzy nie dotykają źródła pola. Odnośnie ekspozycji chirurga wykonującego zabieg elektrodą monopolarną, przy której występują stosunkowo silne pola strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, ocena powinna zostać uzupełniona o pomiary lub obliczenia prądu kontaktowego lub prądu indukowanego.

Zaprezentowane wartości prądów w kończynach, zmierzone przy stosunkowo słabych

polach elektrycznych w otoczeniu kabli zasilających elektrody, są ok. 5 razy mniejsze od wartości dopuszczalnych. Oszacowano, że przy możliwych znacznie silniejszych polach lub przy dotykaniu kabli do ciała pracownika wartość dopuszczalna prądu kontaktowego w kończynach może być jednak przekroczona, co wymaga weryfikacji w dalszych badaniach. Pełna ocena poziomu ekspozycji elektrochirurgów w oparciu o miary wewnętrzne i postanowienia dyrektywy 2004/40/WE będzie możliwa jednak do przeprowadzenia po ustanowieniu norm europejskich definiujących szczegółowo zasady takiej oceny. Jeżeli stwierdzone jest jedynie słabe pole elektryczne przy elektrodzie (np. w przypadku wykorzystywania niewielkiej mocy urządzeń, rzędu 50 W, stosowania elektrod bipolarnych lub ekranowanych), pomiary natężeń pól można przyjąć za wystarczające do stwierdzenia ekspozycji dopuszczalnej.

Dopuszczalny wskaźnik ekspozycji chirurga może zostać przekroczony w przypadku długotrwałych zabiegów wykonywanych w jednym dniu elektrodą monopolarną, wskutek zbyt długiego czasu narażenia na pola strefy zagrożenia (np. ponad 2 godziny w oddziałujących na tułów polach o natężeniu 200 V/m). Obecnie brak możliwości technicznych pomiaru wskaźnika ekspozycji, można jedynie oszacować jego wartość na podstawie wyników punktowych pomiarów wartości chwilowej natężenia pola w miejscach wykonywania różnych czynności lub ocenić jego największą wartość w odniesieniu do największego natężenia pola oddziałującego na pracownika. Na podstawie tych danych pracodawca powinien zapewnić taką organizację pracy aby nie było przekroczeń wskaźnika ekspozycji poszczególnych pracowników.

Modulacja jest przyczyną rozbieżności pomiędzy wartością równoważną i skuteczną mierzonego pola oraz opisanych błędów systematycznych pomiaru pola. Uwzględnienie tego przy ocenie wyników pomiarów wymaga dysponowania bieżącymi danymi odnośnie modulacji mierzonego pola i szczegółowymi danymi aplikacyjnymi miernika. Analiza taka może skutkować stwierdzeniem występowania stref ochronnych o zwiększonym zasięgu w stosunku do bezpośredniej oceny wyników pomiarów wartości skutecznej.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i oceny ekspozycji pracowników służby zdrowia na pole elektromagnetyczne od urządzeń elektrochirurgicznych stwierdzono, że:

- przy wykonywaniu zabiegów elektrodami bipolarnymi lub elektrodami unipolarnymi przy mocy poniżej 50 W występuje ekspozycja dopuszczalna wszystkich osób z zespołu zabiegowego;
- przy wykonywaniu zabiegów elektrodami unipolarnymi przy większej mocy może wystąpić ekspozycja niedopuszczalna;
- ekspozycja lekarza-operatora trzymającego w ręku elektrodę zabiegową może być dopuszczalna przy właściwym ułożeniu kabli łączących elektrody z generatorem urządzenia elektrochirurgicznego;
- cena ekspozycji lekarza-operatora wymaga uwzględnienia miar wewnętrznych oprócz wyników pomiarów pól występujących na stanowisku pracy;
- ekspozycja pozostałych osób z zespołu zabiegowego może być oceniana w oparciu o wynik pomiarów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego jeżeli nie dotykają one źródła pola i kiedy nie przebywają one bezpośrednio przed wyprowadzeniami kabli z generatora.

K. Gryz, J. Karpowicz

ELECTROMAGNETIC HAZARDS FROM ELECTROSURGERY – ASSESSMENT
OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELD AND CURRENTS
INDUCED IN THE BODY

Summary

The investigation of the occupational exposure to electromagnetic fields from electrosurgery devices were done (according to the requirements of Polish Standard PN-T-06580:2002). The exposure was evaluated following the criteria established by occupational safety and health regulations. The measurements and evaluation of the currents flowing through the exposed workers body were also conducted following the method and criteria published by IEEE standard and European Directive 2004/40/EC. It was found that in the vicinity of electrosurgical devices, the area of electromagnetic fields to which only workers operating the source of field should be exposed can exist up to the distance of 70 cm from the active electrode and supplying cables. In the case when the cables are placed directly on the surgeon body or long duration of the daily exposure the overexposure of workers can appear (referring to Polish regulations). The current flowing through the arm of surgeon keeping the electrode with electric field of the maximum strength (app. 1000 V/m or higher) can exceed permissible value of 40 mA established by the Directive 2004/40/EC for contact current. The reduction of the surgeon exposure can be reached by the proper positioning of the cables supplying monopolar electrode or by the use of bipolar electrode.

Praca zawiera wyniki zadań I.3.10, 1.A.03 programu wieloletniego pn.: „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” oraz zadania II-10.

PIŚMIENNICTWO

1. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC), O.J. Nr L-184, 2004 – tekst polski – <http://www.doc.ukie.gov.pl/dt/32004L0040.doc>
2. Gryz K. Karpowicz J.; Zagrożenia elektromagnetyczne przy zabiegach chirurgicznych, VI Ogólnopolskie Sympozjum „Blok Operacyjny – organizacja i funkcjonowanie”, Warszawa, 2005, 34-41.
3. Gryz K. Karpowicz J.: Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy. Monografia z serii: „Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy”. Red. nauk. D. Koradecka, CIOP, Warszawa, 2000.
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, 1998, 74, 4 (April), 494-522.
5. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300GHz. IEEE Std C95.1, 1999 Edition Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA, 1999.
6. 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.

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.

Otrzymano: 2005.12.16