

Wojciech KRASZEWSKI
Przemysław SYREK

MAGNETOTERAPIA – ZASTOSOWANIE POLA MAGNETYCZNEGO W LECZENIU ORAZ ZAGROŻENIA Z NIM ZWIĄZANE

STRESZCZENIE *Oddziaływanie pola magnetycznego na żywe organizmy, w zależności od wartości, czasu trwania oddziaływania, może powodować zarówno pozytywne jak i negatywne efekty. W przypadku magnetoterapii, przy wielu schorzeniach oddziaływanie przynosi bardzo dobre efekty, jednakże może również stanowić pewne zagrożenie dla personelu medycznego, który jest narażony na oddziaływanie pola przez wiele godzin dziennie, a więc wielokrotnie dłużej niż czas pojedynczego zabiegu.*

Słowa kluczowe: *oddziaływanie pól, magnetoterapia, otoczenie aplikatorów, oddziaływanie pola magnetycznego na personel.*

1. WSTĘP

Sposób oddziaływania pola elektromagnetycznego, jego wpływ na organizmy żywe i ich kondycję, poznawany jest od ponad stu lat. Intensyfikacja badań i istotne zainteresowanie świata nauki nastąpiło dopiero w drugiej połowie dwudziestego wieku. Efektem prowadzonych badań jest ogromna liczba

mgr inż. Wojciech KRASZEWSKI
e-mail: wkraszew@agh.edu.pl

mgr inż. Przemysław SYREK
e-mail: syrekp@agh.edu.pl

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

ksiązek i publikacji związanych z tym tematem. Pole elektromagnetyczne jest związane z życiem na Ziemi i bezsprzecznie ma na żywe organizmy wpływ. Nauka poszukuje odpowiedzi – z lepszym lub gorszym skutkiem – na temat efektów (zarówno pozytywnych jak i negatywnych), jakie pole elektromagnetyczne wywołuje. Pole elektromagnetyczne generowane jest przez urządzenia towarzyszące człowiekowi niemal w każdym miejscu. Postęp i rozwój, niosą za sobą również problemy i zagrożenia. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na organizmy żywe oraz skala zagrożeń z nim związanych, muszą być oceniane i poznawane, tak aby niebezpieczeństwo ograniczać, a w miarę możliwości eliminować. Poza negatywnym oddziaływaniem, zaczęto dostrzegać też możliwość korzystnego oddziaływania pól. Leki, które w nieodpowiednich dawkach są trucizną dla organizmu, odpowiednio stosowane, mają właściwości lecznicze i korzystnie oddziałują na konkretne schorzenie. Poprzez analogię, również pole elektromagnetyczne, stosowane w odpowiednich „porcjach” i odpowiednio „wycelowane”, może przynosić poprawę przy wielu przypadłościach.

2. ZASTOSOWANIE MAGNETOTERAPII

Pole magnetyczne stosowane w magnetoterapii charakteryzuje się częstotliwością mniejszą od 100 Hz (z reguły 10-20 Hz) i indukcją magnetyczną rzędu mili Tesli, tj. indukcją 2-3 rzędy większą od indukcji pola magnetycznego Ziemi [2]. Dokładne wartości mieszczą się w przedziale od 1 pT do 20 mT [30] (gdy nie tworzy się sztucznego podziału pomiędzy magnetostymulacją a magnetoterapią, który spotykany jest w literaturze [15]).

Odrębną grupą ze względu na wartości pola, którą warto wyróżnić, jest stymulacja polem magnetycznym w leczeniu depresji (stymulacja przeczaszkowa). W metodzie tej, wartość indukcji może osiągać nawet 5 Tesli (przy częstotliwości rzędu kilku Hz) [37].

2.1. Schorzenia i przypadłości leczone przy wykorzystaniu pola magnetycznego

Lista schorzeń, w których zastosowanie znajduje magnetoterapia zawiera wiele pozycji, w tym:

- przyspieszanie leczenia świeżych złamań,
- odtwarzanie ubytków masy kostnej (osteoporoza),
- artretyzm (choroby stawów),
- leczenie tkanki miękkiej,
- regeneracja nerwów,

- działanie przeciwbólowe (analgetyczne),
- działanie przeciwzapaleniowe,
- zwiększenie ukrwienia,
- wzmocnienie układu odpornościowego,
- zmniejszanie obrzęków,
- redukcja napięcia mięśniowego.

Równocześnie należy zaznaczyć, iż trwają badania (w różnej fazie realizacji), które być może przyczynią się w niedalekiej przyszłości do zwiększenia zakresu zastosowania magnetoterapii.

2.2. Choroby przewlekłe

Magnetoterapia stosowana jest także w przypadku chorób przewlekłych, powoduje poprawę w globalnej skali inwalidztwa i codziennym funkcjonowaniu, np. u chorych po udarach mózgu. Dzięki zastosowaniu tej metody, poprawia się stan neurologiczny, zwiększa siła lokomocyjna, a także siła mięśniowa (przy parametrach: 40 Hz, 4,5 mT, przebieg sinusoidalny). Magnetoterapia również przyczynia się do znaczącego zmniejszenia zmęczenia u osób chorych na stwardnienie rozsiane [22] i może być metodą uzupełniającą w objawowym leczeniu tej choroby [31]. Natomiast magnetostymulacja (a więc terapia, w której stosowne jest pole magnetyczne o wartościach nieprzekraczających 0,1 mT) zmniejsza dolegliwości bólowe, obrzęki, sztywność poranną w przypadku młodzieńczego, idiopatycznego zapalenia stawów [6].

Autorzy większości prac, podkreślają wysoką tolerancję zabiegów ze strony pacjentów.

2.3. Złamania

Złamania należą do grupy schorzeń, w której magnetoterapia jest bardzo częstą metodą wspomaganie lub nawet leczenia. Kuracja po złamaniu polega na takiej regeneracji kości, które zapewnia zespolenie szkieletu i uzupełnienie ubytków masy kostnej w miejscach, gdzie takie wystąpiły. O dotkliwości i konsekwencjach złamań może świadczyć fakt, iż dla przykładu, złamania były powodem absencji chorobowej u 11,8% pracowników Polsce w 2006 roku [19]. Powodem takiego stanu jest czas leczenia oraz bardzo często długa rehabilitacja, która uniemożliwia powrót na stanowisko pracy. Zatem każdy nowy rodzaj terapii, zapewniający czy chociażby w nieznacznym stopniu przyspieszający powrót do pełnej sprawności, jest wart rozważenia. Według danych z 2007 roku, rynek w Stanach Zjednoczonych na leczenie i wspomaganie związane ze złamaniami, przy użyciu metod elektromagnetycznych wyniósł 500 milionów USD [21].

Przypadki pozytywnego oddziaływania prądu elektrycznego i powodowanie zrastania złamań w przypadkach, w których wzrost był zahamowany, odnotowano już w XIX wieku. W latach pięćdziesiątych XX wieku, japońscy naukowcy opisali oddziaływanie prądu rzędu mikroamperów na przyrost kości udowej królika [35]. Ci sami badacze odkryli i opisali efekt zmiany potencjałów elektrycznych w kościach długich, pod wpływem zewnętrznych naprężeń [36]. Od tego momentu na całym świecie rozpoczęły się badania nad zjawiskami elektrycznymi zachodzącymi w kościach pod wpływem różnych czynników.

Urządzenia do stymulacji wzrostu kostnego można podzielić na trzy grupy, według zasady działania [8]:

- zastosowanie prądu stałego, przy użyciu wszczepianych elektrod (metoda inwazyjna)
- metodę pojemnościową, umieszczenie elektrod naskórnych (metoda nieinwazyjna)
- zastosowanie prądu zmiennego, generowanego poprzez zmienne w czasie pole magnetyczne (metoda nieinwazyjna); zabiegi mogą być wykonywane bez naruszenia gipsu, bandażu a nawet ubrania

Dwie spośród przedstawionych metod – stosowane z użyciem elektrod – wymagają szczególnej ostrożności i powodują uciążliwość dla pacjentów. W metodzie pojemnościowej, stosowane są prądy o częstotliwości kilkudziesięciu Hz (ze względu na zależność impedancji skóry od częstotliwości). Metoda wykorzystująca prąd stały, wiąże się z zabiegami chirurgicznymi – a dodatkowo – wartość prądu musi być precyzyjnie dobrana i mieścić się w zadanym zakresie. Poniżej pewnego progu wartości, brak efektu zrastania się kości, a przekroczenie dopuszczalnego zakresu powoduje martwicę tkanek [10]. Stąd w przypadku złamań, należy skupić się na zapewnieniu odpowiednich parametrów magnetycznych dokładnie w obrębie samego złamania, jeżeli pominiemy dodatkowe efekty, jak działanie przeciwbólowe czy oddziaływanie pola na sąsiadujące tkanki, w przypadkach złamań powikłanych z uszkodzeniami naczyń krwionośnych i nerwów.

3. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z ODDZIAŁYWANIEM POLA MAGNETYCZNEGO

3.1. Reakcje organizmów na pole magnetyczne

Pole magnetyczne – nawet o wysokich wartościach – nie jest wykrywalne przez ludzki organizm. Mimo, iż brak świadomości jego występowania, oddzia-

ływanie może mieć skutki wywołując rozmaite efekty. U ochotników poddanych badaniom przy ekspozycji o wartości 20 μT i natężeniu pola 9 kV/m przy częstotliwości 60 Hz, rytm serca ulegał spowolnieniu, występowało opóźnienie czasu reakcji [5]. Pole magnetyczne o trzy rzędy większych wartościach – powyżej 10 mT – może wywoływać zaburzenia widzenia: błyski, zaburzenia kształtów [34]. Przytoczone efekty występują bezboleśnie, gdyż w celu zapewnienia najlepszej widoczności, siatkówka jest pozbawiona receptorów bólowych a nawet naczyń w jej części centralnej i wszelkie jej uszkodzenia są bezbolesne – odbywają się bezwiednie. Autorzy pracy [34], podkreślają, że z jednej strony czynnik oddziałujący (np. pole magnetyczne) jest poza percepcjami naszych zmysłów, a dodatkowo obiekt mogący ulec uszkodzeniu jest pozbawiony receptorów bólowych (badania wykluczyły powstawanie wrażeń na skutek pobudzania centrów wzrokowych w płatach potylicznych mózgu – pole oddziałuje bezpośrednio na siatkówkę). Ten przykład wart jest podkreślenia, gdyż niewłaściwe stosowanie aplikatorów pola magnetycznego (w szczególności mobilnych), może być przyczyną postawienia osoby poddawanej rehabilitacji w sytuacji zagrażającej jej zdrowiu a nawet życiu – wypadki komunikacyjne.

3.2. Niejednoznaczności dotyczące możliwości stosowania magnetoterapii

Według autorów [1], powołujących się na szereg prac związanych z tą tematyką, wpływ pola magnetycznego niskich częstotliwości na zachowanie się ciśnienia krwi u ludzi jest niejednoznaczny. Część cytowanych prac podaje przykłady korzystnego wpływu magnetoterapii na ciśnienie tętnicze; inni badacze obserwowali obniżanie ciśnienia u pacjentów z prawidłowym ciśnieniem krwi, natomiast u pacjentów z nadciśnieniem nie obserwuje się obniżenia ciśnienia krwi, przy zastosowaniu pola o indukcji od 1 do 15 mT (chorych poddano magnetoterapii głowy i szyi, lędźwiowo-krzyżowego kręgosłupa oraz kolan), ani podczas zabiegu, ani w czasie późniejszym [17]. Z kolei w [20] stwierdzono, że pola magnetyczne stosowane w fizykoterapii, mają wpływ regulujący na ciśnienie krwi.

3.3. Stany wykluczające możliwość stosowania magnetoterapii

Najczęściej wymieniane sytuacje (w tym choroby), w których istnieją przeciwwskazania do stosowania magnetoterapii:

- ciąża,
- choroba nowotworowa (w tym po operacjach i podczas chemioterapii),

- czynna gruźlica,
- u osób używających czułych urządzeń elektronicznych, takich jak: rozrusznik serca lub aparat słuchowy,
- przy krwawieniu z organów wewnętrznych,
- przy chorobach neurologicznych, np. epilepsji,
- chorobach krwi,
- niskim ciśnieniu krwi.

Lista może być wydłużana o kolejne schorzenia, np. za [24] należy ją rozszerzyć o ostre zapalenie zakrzepowe żył, nadciśnienie, nadczynność tarczycy.

4. POLSKIE I ZAGRANICZNE PRZEPISY DOTYCZĄCE ODDZIAŁYWANIA POLA MAGNETYCZNEGO

Zarówno w polskich jak i zagranicznych regulacjach prawnych rozróżnia się dwa środowiska w których pola, zarówno magnetyczne jak i elektryczne, mogą oddziaływać: środowisko pracy oraz środowisko ogólnie dostępne. Środowisko pracy to obszar, który w większości przypadków dostępny jest jedynie dla pracowników, którzy narażeni są na większe wartości działającego pola lecz stosunkowo krótki czas ekspozycji. Z kolei środowisko ogólnie dostępne według przepisów to obszar, na którym bez ograniczeń przebywać mogą ludzie (w tym dzieci, kobiety w ciąży itp.), co powoduje, że są oni narażeni na mniejsze wartości działającego pola, lecz zwykle czas ekspozycji jest znacznie dłuższy [32].

4.1. Przepisy dotyczące miejsc dostępnych dla ludności lub pod zabudowę mieszkaniową

W Polsce dopuszczalny poziom pól określony jest w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2003 roku, w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów [25]. Rozporządzenie, oprócz określenia metod sprawdzania dotrzymania oraz wyznaczania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych, różnicuje dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych dla:

- terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową,
- miejsc dostępnych dla ludności.

Zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych, dla których określa się parametry fizyczne charakteryzujące oddziaływanie pól elektromagnetycznych

na środowisko, dla miejsc dostępnych dla ludności oraz dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla miejsc dostępnych dla ludności przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Składowe pola: elektrycznego i magnetycznego wg [25]

Zakres częstotliwości	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
0 Hz	10 kV/m	2500 A/m	-
od 0 do 0,5 Hz	-	2500 A/m	-
od 0,5 do 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	-
od 50 Hz do 1 kHz	-	3/f A/m	-
od 1 kHz do 3 MHz	20 V/m	3 A/m	-
od 3 MHz do 300 MHz	7 V/m	-	-
od 300 MHz do 300 GHz	7 V/m	-	0,1 W/m ²

f - częstotliwość (z zakresu 50 Hz – 1 kHz).

Normy dotyczące oddziaływania pola magnetycznego nie są jednolite. Nawet w krajach należących do Unii Europejskiej dopuszczalne poziomy są bardzo zróżnicowane. W Polsce w 2003 roku, obniżono dopuszczalną wartość z 80 do 60 A/m. W tabeli 2 pokazano przykładowe wartości. W Wielkiej Brytanii dopuszczalne natężenie pola magnetycznego jest ponad dwadzieścia razy większe niż w Polsce. W niektórych krajach, są również określone maksymalne wartości pola, w których dopuszczone jest przebywanie krótkotrwałe – np. w Niemczech wynosi 2 godziny na dobę.

TABELA 2

Najwyższe dopuszczalne natężenie pola magnetycznego przy częstotliwości 50 Hz, na podstawie [14]

	Bez ograniczeń czasowych	Z ograniczeniami, krótkotrwałe
Polska	60 A/m	-
Propozycja dla krajów UE	80 A/m	-
Niemcy, Włochy, Australia, Austria	80 A/m	800 A/m
Wielka Brytania	1280 A/m	-
CENELEC (Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki)	512 A/m	1280 A/m (w ciągu zmiany roboczej)

4.2. Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy

W maju 2004 opublikowano dyrektywę europejską dotyczącą bezpieczeństwa ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne [7]. Dyrektywa

określa graniczne wartości pól w środowisku pracy - nie narzuca konkretnych wartości w normach przyjętych w poszczególnych krajach, z tym założeniem, że nie mogą one być mniej restrykcyjne. Graniczne wartości ekspozycji kontrolowanej nie mają na celu ochrony przed skutkami ekspozycji wieloletniej w czasie całego okresu aktywności zawodowej pracownika. Służą jedynie zapewnieniu minimalnej ochrony pracowników przed natychmiastowymi skutkami ekspozycji. Występowanie pól przekraczających te wartości powinno skłonić pracodawcę do kontroli warunków i skutków ekspozycji oraz podjęcia działań prewencyjnych [12]. We wszystkich normach podawane są wartości skuteczne.

TABELA 3

Składowe pola: elektrycznego i magnetycznego wg [7]

Zakres częstotliwości	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
0-1 Hz	-	163 kA/m	-
1-8 Hz	20 kV/m	$163/f^2$ kA/m	-
8-25 Hz	20 kV/m	$20/f$ kA/m	-
25-820 Hz	$500/f$ V/m	$20/f$ A/m	-
0,82-2,5 kHz	610 V/m	24,4 A/m	-
2,5-65 kHz	610 V/m	24,4 A/m	-
65-100 kHz	610 V/m	$1600/f$ A/m	-
0,1-1 MHz	610 V/m	$1,6/f$ A/m	-

f – częstotliwość w jednostkach z kolumny „zakres częstotliwości”.

Obecne przepisy i normy dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy, określają możliwości oraz czas przebywania w polu elektromagnetycznym w zakresie od 0 do 300 GHz. Ocena ta zależy od wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego i magnetycznego działającego na pracownika. Ze względu na oddziaływanie pola magnetycznego, wyróżnia się następujące strefy [26]:

- bezpieczną, gdzie przebywanie pracowników nie podlega żadnym ograniczeniom
- ochronną, gdzie przebywanie dozwolone jest pod warunkiem skracania czasu ekspozycji lub zastosowania odzieży ochronnej. Strefa ta jest podzielona w zależności od natężenia pola na:
 - pośrednią (66 – 200 A/m) – przebywanie pracowników jest dozwolone w ciągu jednej zmiany roboczej
 - zagrożenia (200 – 2000 A/m) – w tej strefie maksymalny czas przebywania uzależniony jest od wartości natężenia pola magnetycznego i według przepisów, w zakresie częstotliwości od 0,5 do 50 Hz

nie może przekraczać wartości określonej w przepisach jako doza dopuszczalna pola magnetycznego: $Dd_H(f) = H^2 h$ (będącej iloczynem kwadratu natężenia pola i czasu przebywania), która wynosi $0,32(kA./m)^2 h$. Maksymalny czas przebywania w tej strefie nie może przekraczać 8 godzin

- niebezpieczną (powyżej 2000 A/m) – w tej strefie, przebywanie pracowników jest zabronione

W strefie zagrożenia, zarówno górna granica natężenia pola magnetycznego jak i wartość dozy dopuszczalnej pola magnetycznego zmieniają się wraz z przedziałem częstotliwości. Powyżej przedstawiono dane tylko dla częstotliwości w przedziale od 0,5 do 50 Hz, ponieważ takie częstotliwości występują w magnetoterapii w zdecydowanej większości przypadków.

Na obszarze stref ochronnych, dozwolone jest przebywanie wyłącznie pracowników, spełniających określone wymagania, u których w wyniku przeprowadzonych badań lekarskich stwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne [11, 26]. Gdy stanowisko pracy znajduje się w jednej ze stref ochronnych, wówczas warunki ekspozycji powinny być okresowo kontrolowane, wraz z jednoczesnym wymogiem okresowych, specjalistycznych badań lekarskich i wymogiem szkoleń dla pracowników w zakresie bezpieczeństwa pracy w polach elektromagnetycznych [11]. Zasady wykonywania pomiarów tych pól zawarte są w normie PN-T-06580:2002 [23].

Do powyższych przepisów należy dodać jeszcze zalecenie według [16], które określa dopuszczalną wartość ekspozycji pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz, dla osób ze stymulatorami serca, na poziomie 0,1 mT (80 A/m), a więc już w obrębie strefy pośredniej.

5. ODDZIAŁYWANIA POLA MAGNETYCZNEGO PODCZAS MAGNETOTERAPII

Przepisy dotyczące ochrony pracowników i dopuszczalnych wartości pola magnetycznego przedstawiono w rozdziale 4. W przypadku magnetoterapii, bez wątpienia problem oddziaływania pola magnetycznego na otoczenie występuje i wymaga analizy oraz oceny ewentualnej szkodliwości, a przede wszystkim sprawdzenia czy przepisy są przestrzegane.

Wymogi bezpieczeństwa odnoszące się do zastosowania pól magnetycznych w medycynie podzielić można na 4 grupy [29]:

- zabezpieczenie pacjenta i obsługi przed porażeniem prądem sieciowym

- zabezpieczenie osób, które obsługują aparaturę do magnetoterapii przed szkodliwym działaniem pola magnetycznego
- przeciwwskazania do stosowania pól magnetycznych w określonych jednostkach chorobowych
- względne przeciwwskazania wynikające z możliwości pojawienia się działań ubocznych

Zakłada się, że pierwszy z przytoczonych czynników jest poza dyskusją - aparatura spełnia określone normy bezpieczeństwa i porażenie pacjenta prądem sieciowym nie jest brane pod uwagę. W tym podrozdziale brane są pod uwagę pozostałe grupy.

Ocena oddziaływania pola magnetycznego oraz dopuszczalności stosowania magnetoterapii u pacjentów – np. podczas leczenia złamań u kobiet w ciąży – wymaga porównania wartości pola niezbędnej do uzyskania efektu terapeutycznego i wartości jaka może wystąpić w otoczeniu aplikatora. W tym wypadku oprócz obszarów poddanych leczeniu, pole oddziałuje również na pozostałe części organizmu. W zależności od użytego aplikatora, stosunek wartości pola w rejonie leczonym do wartości występujących w otoczeniu może mieć różne wartości – zależy to również od tego, jakie schorzenie jest leczone. Przy leczeniu kończyn, aparat może być znacznie bardziej oddalony od ciała pacjenta niż w przypadku schorzeń kręgosłupa. Jako przykład można przytoczyć aparat przenośny, w przypadku leczenia złamań i oddziaływania pola na zrastającą się kość, pole magnetyczne w otoczeniu aplikatora, w odległości 8 cm od aparatu może osiągnąć nawet 140% wartości oddziałującej w niewielkim obszarze złamania [33]. Zatem nieodpowiednie ułożenie przestrzenne aparatu lub kończyny może spowodować, że pole będzie osiągało wartości niedopuszczalne w miejscach gdzie nie jest to wskazane [4]. W przypadku aplikatorów szpulowych, strefa niebezpieczna może się rozciągać nawet do kilkudziesięciu centymetrów od aplikatora i bez wątpienia obejmuje spory fragment ciała pacjenta; w tym wypadku jednak jest to oddziaływanie uzasadnione, do którego dopuszcza się świadomie.

Odrębną grupę ze względu na oddziaływanie pola magnetycznego stanowi personel obsługujący aparaturę i przebywający w gabinetach: lekarze, fizykoterapeuci. Ta grupa z kolei nie przebywa bezpośrednio przy aparaturze lecz w jej otoczeniu. Jednakże w gabinecie może być wykorzystywanych kilka aplikatorów jednocześnie, a czas przebywania w ich otoczeniu wynosi kilka godzin dziennie. Zatem istotne jest określenie przestrzenne stref ochronnych w gabinecie oraz ocena ewentualnego narażenia.

6. APARATURA STOSOWANA W GABINETACH

Obecnie na rynku istnieje bardzo duży wybór aparatury stosowanej w magnetoterapii. Urządzenie stosowane w magnetoterapii składa się z zasilacza (sterownika), który wytwarza prąd (o określonych parametrach: wartości, kształcie, częstotliwości), którego przepływ poprzez cewkę (o różnych kształtach) powoduje powstawanie pola magnetycznego w otoczeniu cewki – dalej zwanej aplikatorem. Zarówno kształt cewki może mieć bardzo różne formy, jak też kształt samego impulsu prądowego zależy od producenta. Według [27, 30] z powodu braku dostatecznej wiedzy biologicznej, kształty impulsów dobierane są empirycznie i znacząco różnią się w urządzeniach produkowanych przez różnych producentów.

6.1. Aplikatory przenośne

Aplikatory te mogą wraz ze sterownikami być stosowane przez pacjentów poza gabinetami, a dzięki możliwości zaprogramowania i zapamiętania parametrów terapii, mogą być używane przez pewien okres czasu w domu i w miejscu pracy. Rola pacjenta ogranicza się wówczas jedynie do odpowiedniego usytuowania i założenia urządzenia, o odpowiednio wyznaczonych przez lekarza porach.

Do tej grupy można zaliczyć również przenośne zestawy domowe, służące do rehabilitacji i odnowy biologicznej: maty i poduszki, jak również aplikatory eliptyczne – lokalne, wytwarzające niejednorodne pole magnetyczne, oddziałujące na obszary bezpośrednio przylegające do urządzenia.

Istotną zaletą takiego aplikatora jest jego wygoda w stosowaniu [3, 2] oraz fakt, że ułatwia on zdecydowanie terapię nie tylko u ludzi ale również u zwierząt. W szczególności zwierzęta nie są na tyle cierpliwe, aby pozostawać w bezruchu przez cały czas jaki potrzebny jest podczas terapii. Mała waga oraz małe gabaryty pozwalają stosować aparaturę bardziej elastycznie pod względem miejsca przebywania: w pracy, w podróży. Rysunek 1 przedstawia przenośny aplikator, skonstruowany w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. Zestaw jest bardzo wygodny do stosowania i przemieszczania się. Sam aplikator znajduje się w obudowie z materiału. Sposobem zakładania i wyglądem całe urządzenie przypomina aparaty do pomiaru ciśnienia krwi. Aplikator połączony jest z poręcznym sterownikiem, który można umieścić nawet w kieszeni o nieco większych rozmiarach. Oprogramowanie dołączone do zestawu umożliwia zadawanie i zapamiętanie istotnych parametrów terapii oraz czasu rozpoczęcia i trwania terapii w kolejnych (wybranych) dniach. Ogranicza to konieczność dojazdów i wizyt

w gabinecie, które konieczne są jedynie co pewien czas, w celu oceny postępów leczenia i zaprogramowania kolejnej serii terapii, której parametry zadawane są przez lekarza, w oparciu o aktualny stan zdrowia pacjenta.



Rys. 1. Aplikator przenośny oraz sterownik, sposób zakładania

6.2. Aplikatory stosowane pod specjalnym nadzorem

Do tej grupy zaliczyć można małe cewki stosowane w psychiatrii do stymulacji przeczaszkowej, np. w leczeniu depresji, w których prądy osiągają wartości powyżej 1 kA [28], a indukcja pola magnetycznego przekracza wartość 1 T [18, 37]. Ze względu na pożądaną, jak największą wartość indukcji, wartości impulsów prądowych dochodzą do granic możliwości materiałowych, a to z kolei powoduje, że zabiegi muszą być stosowane pod specjalnym nadzorem ze strony personelu medycznego.

6.3. Aplikatory stosowane w gabinetach

Do tej grupy zaliczyć można w ogólności aparaturę o rozmiarach, które uniemożliwiają łatwe przenoszenie, a w szczególności poruszanie się pacjentów wraz z nimi (rys. 2).

Typowym urządzeniem w tej grupie jest aplikator szpulowy (najczęściej o średnicach od 0,2 do 0,6 m). Jest to aplikator lokalny najczęściej przeznaczony do oddziaływania na kończyny. Wytwarza w obszarze aplikacji pulsujące pole jednorodne, o liniach sił pola magnetycznego równoległych do osi cewki, a co za tym idzie do ciała pacjenta, co według producentów zwiększa skuteczność aplikacji.

Jako przykład, w pracy przedstawiony jest aparat Magnetronic MF-10 [13], pracujący w Specjalistycznym Centrum Leczniczo-Rehabilitacyjnym w Pielgrzymowicach pod Krakowem [9]. W skład zestawu wchodzi trzy aplikatory (cewki) szpulowe o średnicach: 0,5, 0,315, 0,2 m. Wartość maksymalna amplitudy indukcji pola magnetycznego w osi aplikatora wynosi 10 mT (cewka o średnicy 0,2 [m]), 5 mT (cewka o średnicy 0,315 m) lub 2,5 mT (cewka o średnicy 0,5 m). Częstotliwość zmian pola magnetycznego może być regulowana w przedziale od 1 do 50 Hz. Masa aparatu wynosi 10 kg. Przebieg czasowy pola magnetycznego jest opcjonalny (sinusoidalny bipolarny, sinusoidalny unipolarny, prostokątny bipolarny, prostokątny unipolarny, stały jednokierunkowy, sinusoidalny bipolarny).

Ponieważ np. w przypadku przebiegu prostokątnego bipolarnego (lub prostokątnego unipolarnego – gdzie wartości współczynnika wypełnienia impulsu mogą osiągać wartości bliskie jedności), współczynnik szczytu jest równy jedności, należy przyjąć, że wartość skuteczna pola magnetycznego (takie wartości podawane są w normach dotyczących stref bezpieczeństwa) może mieć wartości równe (lub zbliżone) wartości maksymalnej podawanej w dokumentacji.



Rys. 2. Aplikator szpulowy w gabinecie

7. PODSUMOWANIE

Zastosowanie pola magnetycznego w leczeniu wielu chorób ma miejsce od wielu lat i jest istotnym czynnikiem zapewniającym, przyspieszającym lub przynajmniej poprawiającym kondycję pacjentów – również nieuleczalnie chorych. Lista schorzeń, w których magnetoterapia odgrywa istotną rolę oraz znajduje zastosowanie, wciąż jest powiększana.

W badaniach klinicznych, ocena i dobór optymalnych parametrów pola magnetycznego umożliwiającego uzyskanie pozytywnych efektów wiąże się ze sporym nakładem czasowym. Przytoczone w pracy niejednoznaczności w ocenie wpływu pola magnetycznego powinny zostać w przyszłości wyjaśnione.

Oddziaływanie pola magnetycznego na ludzi można podzielić na niepożądane (w otoczeniu linii elektroenergetycznych, stacji transformatorowych, zakładów przemysłowych), jak również na świadomie stosowane w celach terapeutycznych. Oba wymienione przypadki podlegają ograniczeniom co do intensywności oddziaływania jak i czasu przebywania. Wartości oraz doza dopuszczalna pola magnetycznego zostały ściśle określone prawnie w normach i rozporządzeniach.

Odpowiednie przepisy określają warunki przebywania zarówno w obszarach ogólnodostępnych, jak i specjalistycznych gabinetach, w których stosowane są aparaty do magnetoterapii. Magnetoterapia z kolei, nie może być stosowana w przypadku pewnej grupy chorób, a parametry leczenia, częstotliwość stosowania zabiegów, wskazywane są w przypadku każdego pacjenta indywidualnie. O możliwości stosowania pulsującego pola magnetycznego decydują w każdym przypadku lekarze.

LITERATURA

1. Ciejka E., Gorąca A.: Wpływ pola magnetycznego niskiej częstotliwości na ciśnienie tętnicze krwi zwierząt doświadczalnych, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, 4/2006, vol.12, 2006.
2. Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P.: Nowa koncepcja uzwojenia wzbudzającego pole magnetyczne w zastosowaniu do magnetoterapii, *Agrolaser 2006*, Lublin, str. 21–25, 2006.
3. Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P.: The shape's influence of the small coil applicator applied in magnetotherapy on the magnetic field schedule, *IC-SPETO 2007*, t.1, str. 43-46, 2007.
4. Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P.: Distribution and Influence of Magnetic Field Applied in Magnetotherapy. Analysis of Selected Issues, *PIERS -Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Moscow -Russia, str. 840-841, 2009.
5. Cook M.R., Graham C., Cohen H.D., Gerkovich M.M.: A replication study of human exposure to 60-Hz fields: effects on neurobehavioral measures, *Bioelectromagnetics*, 13(4), str. 261-285, 1992.
6. Dobrzyniecka B., Prusek W., Zaremba-Nizioł B., Cieślar G., Aleksander Sieroń A.: Badanie skuteczności terapeutycznej i tolerancji zastosowania magnetostymulacji systemem VIOFOR JPS w leczeniu dzieci chorych na młodzieńcze idiopatyczne zapalenie stawów, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, 3-4/2004, vol.10, 2004.
7. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 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), *OJ. Nr L-184*, 2004.

8. Einhorn T.: Enhancement of fracture healing, *Journal of Bone & Joint Surgery*, 77, str. 940-956, 1995.
9. Eko-Med – Specjalistyczne Centrum Leczniczo-Rehabilitacyjne (www.ekomed.com.pl), 32-091 Pielgrzymowice 14.
10. Friedenberga Z., Andrews E., Smolenski B., Peart B., Brighton C.: Bone reaction to varying amounts of direct current, *Surgery Gynecology & Obstetrics*, 131(5), str. 894-899, 1970.
11. Gryz K., Karpowicz J.: Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, str. 88-93, 2004.
12. Gryz K., Karpowicz J.: Dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne – 2004/40/WE, *Bezpieczeństwo Pracy*, 11/2004, str. 20-23, 2004.
13. Instrukcja obsługi. Aparat Magnetronic MF-10 – aparat do leczenia pulsującym polem magnetycznym, producent: Elektronika i Elektromedycyna, Otwock-Świder ul. Zacisza 2.
14. Jaworski M.: Przegląd norm i przepisów w zakresie ochrony przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych 50 Hz obowiązujących w różnych krajach, *Pola elektromagnetyczne w środowisku człowieka – materiały konferencyjne*, Poznań, str. 56-67, 2003.
15. Jędrzejewski P., Cieślak T., Sieroń A.: Zastosowanie kliniczne wolnozmiennych pól magnetycznych – doświadczenia własne, *Dental and Medical Problems*, 39(2), str. 195-197, 2002.
16. Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P.: Pola magnetyczne przy urządzeniach do magnetoterapii – ocena ryzyka zawodowego, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2008/9, str. 21-25, 2008.
17. Kasprzak W.P., Kasprzak P.D., Mańkowska A.: Pulsujące pole magnetyczne a ciśnienie tętnicze u normotoników i w chorobie nadciśnieniowej, *Balneologia Polska*, t. XXXIX, z. 3-4, str. 95-100, 1997.
18. Krawczyk A., Wiak S., Drzymała P., Zyss T.: Modelling of eddy currents applied to human brain, *IEEE Transactions on Magnetics*, 34, 5, str. 3471-3474, 1998.
19. Lisiecka-Biełanowicz M., Krawczyk A., Lusawa A., Kulikowski J.: Wpływ środowiska terapeutycznego na skuteczność terapii polem elektromagnetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, str. 205-206, 2008.
20. Miecznik A., Czernicki J., Krukowska J.: Wpływ pola magnetycznego o różnej charakterystyce fizycznej na ciśnienie tętnicze krwi u chorych z zespołami bólowymi kręgosłupa i współistniejącą chorobą nadciśnieniową, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, 1-2/2001, vol. 7, str. 9-13, 2001.
21. Mollon B., Da Silva V., Busse J.W., Einhorn T.A., Bhandari M.: Electrical Stimulation for Long-Bone Fracture-Healing: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials, *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, 90, str. 2322-2330, 2008.
22. Piatkowski J., Kern S., Ziemssen T.: Effect of BEMER Magnetic Field Therapy on the Level of Fatigue in Patients with Multiple Sclerosis: A Randomized Double-Blind Controlled Trial, *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, Vol. 15, 5, str. 507-511, 2009.
23. Polska Norma, PN-T-06580:2002, Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz, Część 1: Terminologia. Część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy, 2002.
24. Quittan M.: Magnetfeldtherapie -klinische Wirksamkeiten, *Trauma und Berufskrankheit*, Vol. 6, str. 374-375, 2004.
25. Rozporządzeniu Ministra Środowiska, W sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, *Dziennik Ustaw nr 192*, Warszawa, poz. 1883, 2003.

26. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej, W sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Zał. 2/E: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz-300 GHz, Dziennik Ustaw nr 217, Warszawa, 2002.
27. Sawicki B., Starzyński J., Szmurło R., Wincenciak S.: Modelowanie prądów wirowych w ciele człowieka podczas stosowania aplikatorów pola magnetycznego, Przegląd Elektrotechniczny, 2004/12, str. 213-215, 2004.
28. Sawicki B., Szmurło R., Starzyński J., Wincenciak S., Zyss T.: Porównanie wyników symulacji terapii EW i TMS dla rzeczywistych parametrów urządzeń, Przegląd Elektrotechniczny, 12, str. 31-34, 2005.
29. Sieroń A., Cieślak G.: Wymogi bezpiecznego stosowania pól magnetycznych w medycynie, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, 6, str. 87-89, 2000.
30. Sieroń A., Cieślak G., Kawczyk-Krupka A., Biniszkiwicz T., Biłska-Urban A., Adamek M.: Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie, II wyd., α -medica press, Bielsko-Biała, 2002.
31. Sieroń A., Cieślak G., Matuszczyk J., Żmudziński J.: Próba wykorzystania zmiennego pola magnetycznego w objawowym leczeniu stwardnienia rozsianego, Polski Tygodnik Lekarski, t.LI, Nr 6-9, str. 113-116, 1996.
32. Strzałka-Gołaszka K., Syrek P.: Electromagnetic Field in Human Environment and Method of its Determination, MMElektro-2009, 6th International Scientific Conference "Mathematical Modeling of Electrical and Power Engineering", Lviv -Ukraine, str. 226-233, 2009.
33. Syrek P.: Pole elektromagnetyczne w terapii złamań, materiały konferencji zorganizowanej z okazji Jubileuszu 90-lecia AGH, Kraków, str. 263-264, 2009.
34. Sztarfrowski D., Jakubaszko J.: Wpływ zmiennego pola magnetycznego na funkcje narządu wzroku, Przegląd Elektrotechniczny, 04, str. 25-29, 2005.
35. Yasuda I., Fukada E.: Fundamental aspects of fracture treatment, Journal of Kyoto Medical Association, 4:392, 1953.
36. Yasuda I., Fukada E.: On the Piezoelectric Effect of Bone, Journal of the Physical Society of Japan, Vol.12, No.10, October, 1957.
37. Zyss T., Zięba A., Dudek D., Datka W., Grabski B., Siwek M.: Wróbel A., Mączka G.: Stymulacja magnetyczna w leczeniu depresji, Przegląd Elektrotechniczny, 12, str. 75-78, 2005.

Rękopis dostarczono, dnia 19.10.2010 r.

MAGNETOTHERAPY – MAGNETIC FIELD APPLICATION IN THE TREATMENT AND HAZARDS ASSOCIATED

Wojciech KRASZEWSKI, Przemysław SYREK

ABSTRACT *The impact of magnetic fields on living organisms, depending on the value, duration of impact, may cause both positive and negative effects. In the case of magneto-effects on many diseases, magnetic field gives very good results, but may also pose some risk to medical staff, who is exposed to the influence of the field for several hours a day and so many times longer than the time of a single operation.*