

Wojciech KRASZEWSKI
Przemysław SYREK

POLE MAGNETYCZNE WYTWORZONE PRZEZ URZĄDZENIE Z CEWKĄ MAŁOGABARYTOWĄ DO ZASTOSOWANIA W MAGNETOTERAPII

STRESZCZENIE *Od wielu lat trwają badania nad pozytywnym wykorzystaniem pól elektromagnetycznych, szczególnie pola magnetycznego. Przeprowadzone liczne doświadczenia pokazują ich skuteczny wpływ na przyspieszony wzrost kości, gojenie się ran oraz szereg innych schorzeń.*

Rozwój medycyny i postęp technologiczny pozwala na stworzenie nowych urządzeń wykorzystywanych w magnetoterapii. Małogabarytowe cewki aplikatorów mogą być stosowane w warunkach domowych. Z kolei wizualizacja wnikania pola do kończyny pozwoli dobrać kształt aplikatora do uszkodzonego miejsca ciała.

Słowa kluczowe: *magnetoterapia, wolnozmienne pole magnetyczne.*

1. WSTĘP

Wpływ pola elektromagnetycznego na organizmy żywe budził zawsze zainteresowanie wielu naukowców [4, 9]. Przeprowadzone doświadczenia wykazują, że oddziaływanie wolnozmiennych pól elektromagnetycznych (w szczególności

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

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

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki,
Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 248, 2010

magnetycznych) może powodować różne skutki zdrowotne. W ostatnich latach prace badawcze wykazały różnorodność oddziaływań stwarzając teoretycznie nieograniczone możliwości terapeutycznego wykorzystania pól elektromagnetycznych na materię żywą [7]. Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie należy obecnie do najbardziej interdyscyplinarnych kierunków współpracy pomiędzy lekarzami, inżynierami i fizykami, co zapewnia dynamiczny rozwój tej dziedziny medycyny.

2. POLE MAGNETYCZNE W MEDYCYNIE

Badania nad szkodliwością pól elektromagnetycznych na florę, faunę i człowieka trwały i trwają nadal. Jednocześnie naukowcy zainteresowali się możliwością wykorzystania ich dla dobra człowieka. Jednym z pierwszych doniesień naukowych o stosowaniu pól elektromagnetycznych w medycynie, była praca opublikowana przez A. von Sarbo pt. „Kliniczne doświadczenia nad terapeutyczną wartością leczenia elektromagnetyzmem” w 1905 roku. Następne lata to wielokierunkowe badania nad oceną wpływu pól magnetycznych na organizmy żywe [4, 7]. Szczególną uwagę zwrócono na wolnozmiennne pola magnetyczne.

Przeprowadzone badania nad wykorzystaniem terapeutycznym wolnozmiennych pól magnetycznych obejmują doświadczenia począwszy od submolekularnych do eksperymentów na zwierzętach doświadczalnych. Największą dynamiką charakteryzują się badania kliniczne. Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w terapii mieści się w ramach specjalizacji medycznej noszącej nazwę medycyny fizykalnej, która w zależności od parametrów fizycznych dzieli się na działy medyczne takie jak magnetoterapia i magnetostymulacja [8].

W literaturze, zwłaszcza medycznej [7], znajdują się sformułowania mówiące o zmiennym polu elektrycznym lub magnetycznym. Jest to pewne przybliżenie, gdyż wystarczy istnienie jakiegokolwiek zmiennego pola elektrycznego lub magnetycznego, aby powstało pole elektromagnetyczne. W magnetoterapii jak i w magnetostymulacji przyjęło się mówić o wolnozmiennym polu magnetycznym a nie o polu elektromagnetycznym ze względu na niewielkie wartości natężenia pola elektrycznego (około 130 V/m).

3. MAGNETOTERAPIA

Zgodnie z ogólnie przyjętymi w medycynie fizykalnej kryteriami, pola magnetyczne stosowane w magnetoterapii mają częstotliwość mniejszą od 100 Hz

i indukcję magnetyczną rzędu 0,1 – 20 mT. Są one 2-3 rzędy większe od indukcji magnetycznej pola ziemskiego. Najczęściej stosowane przebiegi pól mają kształt sinusoidy, trójkąta, prostokąta i połówek tych przebiegów [8].

Magnetoterapia to metoda leczenia pulsującym polem magnetycznym niskiej częstotliwości. Pod wpływem pola magnetycznego, jony znajdujące się w komórkach ciała ulegające przemieszczeniom, powodują hyperpolaryzację błony komórkowej i tym samym wzmacniają przemianę materii, głównie podczas zachodzących procesów energetycznych. Wzmaga to wykorzystanie tlenu przez komórkę.

Przeprowadzone liczne badania [1, 4, 7], przedstawiające efekt oddziaływania zmiennych pól magnetycznych na organizmy żywe, stały się podstawą do zastosowania zmiennych pól magnetycznych w medycynie przy leczeniu niektórych schorzeń. Intensywny w ostatnich latach rozwój inżynierii, elektroniki i techniki medycznej pozwolił otworzyć nowe możliwości wykorzystania pól elektromagnetycznych w wielu dyscyplinach klinicznych [5].

Wolnozmiennie pole magnetyczne wykorzystuje się aktualnie w leczeniu następujących schorzeń:

- a) choroby narządu ruchu (stany pourazowe, stawy rzekome, osteoporoza, choroba zwyrodnieniowa oraz stany zapalne stawów),
- b) choroby układu nerwowego (stany po udarach mózgowych, migrena, stwardnienie rozsiane),
- c) choroby skóry i tkanek miękkich (oparzenia, owrzodzenia podudzi, infekcje bakteryjne skóry i tkanek miękkich, odleżyny, gojenie się ran).

Wymienione powyżej schorzenia nie stanowią pełnej listy zastosowań magnetoterapii. Są to jednak najczęściej spotykane i udokumentowane badaniami klinicznymi przypadki [6, 7, 8].

4. APARATURA UŻYWANA W MAGNETOTERAPII

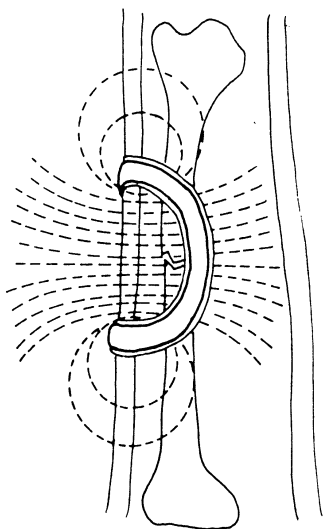
Urządzenia do magnetoterapii takie jak Magnetric MF-10 (obecnie najczęściej spotykana aparatura w gabinetach lekarskich) wykorzystują impulsowe pole magnetyczne niskiej częstotliwości w procesach leczniczych. W zależności od rodzaju zabiegu aplikatory zasilane są prądem o regulowanej częstotliwości (od 1 Hz do 50 Hz) i różnych kształtach (sinusoidalnym, prostokątnym, trójkątnym pełnym lub jednopółkowym), a poziom indukcji nie przekracza 20 mT [3]. Przykład zastosowania typowych aplikatorów wielkogabarytowych pokazano na fotografii (rys. 1.).



Rys. 1. Aplikatory wielkogabarytowe [11]

W ostatnich latach pojawiło się na rynku wielu producentów oferujących sprzęt do magnetoterapii. Producenci prześcigają się w ulepszaniu i rozwijaniu aparatów wraz z aplikatorami. Starają się stworzyć produkt najbardziej uniwersalny z jak najszerszym wachlarzem możliwości. Powstaje pytanie, czy wszystkie spełniają wymagania stawiane przez terapeutów? Czy parametry i wartości pola magnetycznego są takie, jakie podaje literatura w odniesieniu dla danego schorzenia?

5. APLIKATOR MAŁOGABARYTOWY



Rys. 2. Aplikator małogabarytowy [2]

Rysunek 2 przedstawia proponowaną przez autorów cewkę małogabarytową, która może znaleźć zastosowanie kliniczne. Dzięki zastosowanemu materiałowi i zmianie kształtu uzwojenia istnieje możliwość lepszego dopasowania aplikatora do stymulowanej części ciała w taki sposób, aby stymulowane było głównie miejsce poddawane leczeniu. Przy wykorzystaniu tego typu aplikatora leczeniu poddawane byłoby dokładnie to miejsce, które ma być stymulowane polem magnetycznym. Pozwala to precyzyjniej określić indukcję magnetyczną wewnątrz aplikatora pożądaną dla danego typu schorzenia. Ponadto pole magnetyczne wokół aplikatora małogabarytowego nie jest tak rozproszone jak w przypadku powszechnie stosowanych aplikatorów wielkogabarytowych (cylindrycznych). Dzięki temu poszerzy się grupa pacjentów, którzy będą mogli skorzystać z leczniczego wpływu pola magnetycznego (np. z rozrusznikami serca). Inną równie istotną zaletą tego typu aplikatorów jest ich wygoda w stosowaniu.

Pole magnetyczne znajduje zastosowanie nie tylko w rehabilitacji ludzi ale również i zwierząt. Przedstawione w niniejszej pracy podejście polegające na dopasowaniu aplikatora do kształtu stymulowanej polem magnetycznym części ciała, rozwiązuje problem konieczności pozostawania w bezruchu, z jakim mamy do czynienia w przypadku stosowania aplikatorów wielkogabarytowych, co może być szczególnie uciążliwe w przypadku leczenia zwierząt.

6. MODEL MATEMATYCZNY

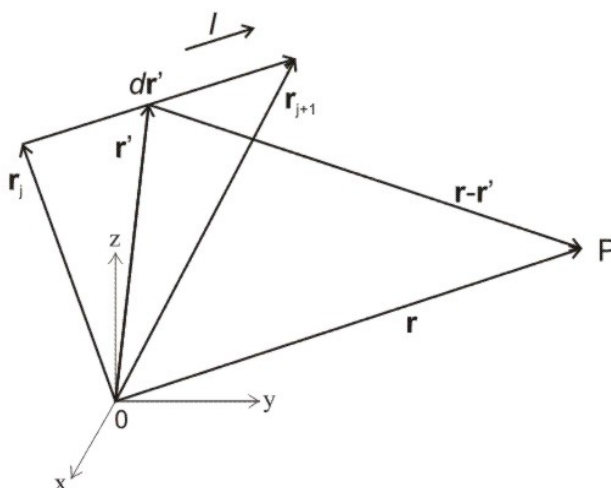
Odpowiadając po części na pytania postawione w rozdziale 4, wydaje się celowym opracowanie modelu matematycznego, a następnie wizualizacja pola magnetycznego. Wykorzystanie technik komputerowych do zobrazowania wpłynie na dokładniejsze konstruowanie aplikatorów o różnych kształtach i parametrach, które znajdą zastosowanie nie tylko w magnetoterapii.

Dla zadanego kształtu aplikatora, należy najpierw obliczyć magnetyczny potencjał wektorowy w punkcie dla każdego odcinka linii, zsumować potencjały ze wszystkich odcinków, a następnie obliczyć wektor indukcji magnetycznej w punkcie jako rotację potencjału wektorowego. Magnetyczny potencjał wektorowy został zdefiniowany w następujący sposób [10]:

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu I}{4\pi} \oint \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad \left[\frac{V \cdot s}{m} \right] \quad (1)$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \text{rot } \mathbf{A}(\mathbf{r}) \quad [\text{T}] \quad (2)$$

Potencjał wektorowy przedstawiono jako sumę elementarnych wektorów pochodzących od K -odcinków, na które podzielono cewkę.



Rys. 3. Interpretacja geometryczna

Równanie (1) przyjmuje następującą postać:

$$\mathbf{A} \approx \sum_{j=1}^K \mathbf{A}_j = \frac{\mu I}{4\pi} \sum_{j=1}^K \int_{\mathbf{r}_j}^{\mathbf{r}_{j+1}} \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad (3)$$

z zastrzeżeniem, że:

$$\mathbf{r}_{K+1} = \mathbf{r}_1$$

Wektor wodzący \mathbf{r}' elementu prądowego $I d\mathbf{r}'$ na odcinku $\overline{\mathbf{r}_j \mathbf{r}_{j+1}}$ oraz nieskończenie małe przemieszczenie $d\mathbf{r}'$ wzdłuż odcinka $\overline{\mathbf{r}_j \mathbf{r}_{j+1}}$, są opisane poniższymi równaniami:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}' &= \mathbf{r}_j + (\mathbf{r}_{j+1} - \mathbf{r}_j)t', \quad 0 \leq t' < 1 \\ d\mathbf{r}' &= (\mathbf{r}_{j+1} - \mathbf{r}_j)dt' \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie parametr t' służy do aproksymacji odcinka $\overline{\mathbf{r}_j \mathbf{r}_{j+1}}$. Zatem całka z równania (3) przyjmuje postać:

$$\int_{\mathbf{r}_j}^{\mathbf{r}_{j+1}} \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = \int_0^1 \left(\frac{d\mathbf{r}'}{dt'} \right) \frac{dt'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = (\mathbf{r}_{j+1} - \mathbf{r}_j) \int_0^1 \frac{dt'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad (5)$$

gdzie odległość między elementem prądowym $I d\mathbf{r}'$ i punktem P dana jest wzorem:

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| \equiv \sqrt{\{x - [x_j + (x_{j+1} - x_j)t']\}^2 + \{y - [y_j + (y_{j+1} - y_j)t']\}^2 + \{z - [z_j + (z_{j+1} - z_j)t']\}^2} \quad (6)$$

i

$$\mathbf{r} = [x, y, z]$$

$$\mathbf{r}_{j+1} = [x_{j+1}, y_{j+1}, z_{j+1}]$$

$$\mathbf{r}_j = [x_j, y_j, z_j]$$

gdzie $j = 1, \dots, K$.

Po rozwiązaniu powyższych równań pozostaje zastosowanie operatora rotacji w celu uzyskania wektora indukcji magnetycznej w punkcie P.

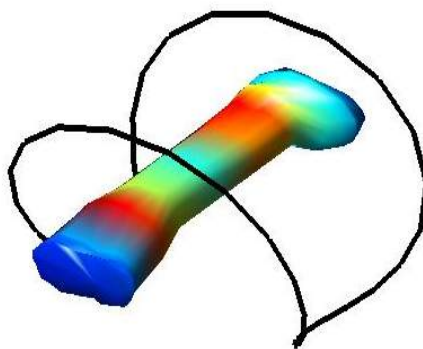
$$\mathbf{B} = \text{rot} \sum_{j=1}^K \mathbf{A}_j \quad (7)$$

7. WYNIKI SYMULACJI

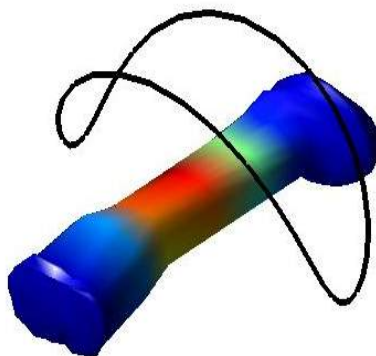
Przykładowy rozkład pola na powierzchni kości został przedstawiony na rysunkach 4 a i b. Pożądanym jest taki dobór parametrów cewki, aby rozkład natężenia pola magnetycznego w miejscu złamania miał równe wartości w całym otoczeniu. Przedstawione wyniki symulacji mają charakter jakościowy. Pozwala to na ocenę wpływu kształtu i parametrów aplikatora na rozkład pola magnetycznego. Rozmiary cewki zależą od wielkości leczonej kończyny i typu schorzenia.

Przedstawiony model matematyczny został zaimplementowany do środowiska programu Matlab.

a)



b)



Rys. 4. Rozkład modułu wektora indukcji magnetycznej na powierzchni kości dla różnego sposobu ułożenia aplikatora

Przy założeniu, że złamanie nastąpiło na środku długości kończyny można łatwo zauważyć, że pierwszy sposób ułożenia aplikatora (rys. 4. a) nie przyniesie spodziewanych efektów. Pole magnetyczne nie obejmuje uszkodzonego miejsca. Poddawane stymulacji będą zdrowe części kości. Tego typu ułożenie może mieć większy sens przy złamaniach w kilku miejscach jednocześnie. Natomiast drugi sposób ułożenia aplikatora (rys. 4. b) wyraźnie skupia pole magnetyczne w miejscu złamania. W tym przypadku została zastosowana cewka aplikatora o mniejszym i węższym kształcie.

8. PODSUMOWANIE

Skuteczne oddziaływanie wolnozmiennego pola magnetycznego na organizmy (ludzkie, zwierzęce) zostało udowodnione licznymi badaniami i doświadczeniami prowadzonymi od wielu lat [1, 7]. Znając terapeutyczne parametry pola magnetycznego (częstotliwość, kształt, natężenie, długość impulsu, czas ekspozycji) można skonstruować nową aparaturę wraz z aplikatorami, która będzie spełniać wymagania nie tylko techniczne, ale przede wszystkim oczekiwania pacjentów i ich lekarzy. Dzięki współpracy z Instytutem Elektrotechniki w Międzyzlesiu udało się stworzyć urządzenie przenośne wraz z aplikatorami małowabarytowymi. Przedstawione w artykule symulacje zostały przeprowadzone dla jednego wybranego przez autorów rozmiaru aplikatora małowabarytowego [2].

Stworzenie matematycznego opisu pola magnetycznego pozwoli na wykonanie symulacji numerycznych. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i ich wizualizacji lekarz będzie w stanie precyzyjniej dobrać parametry aplikatorów i dokładniej wyznaczyć fragment kończyny, który powinien być poddany stymulacji. Pole magnetyczne generowane od aplikatorów małowabarytowych będzie skupione w miejscu, które ma być poddawane jego działaniu.

Obliczenia przedstawione w sposób graficzny będą bardziej zrozumiałe i przejrzyste dla pacjentów, przychodzących do gabinetów rehabilitacyjnych, którzy będą poddawani zabiegom magnetoterapii czy magnetostymulacji.

LITERATURA

1. Aaron R.A., Ciombor D.M., Simon B.J.: Treatment of nonunions with electric and electromagnetic fields, Clin. Orthop., 2004, 419: 9-21.
2. Cieśla A., Kraszewski W., Syrek P.: Nowa koncepcja uzwojenia wzbudzającego pole magnetyczne w zastosowaniu do magnetoterapii, Agrolaser 2006, str. 21 – 25, Lublin 5 – 7 wrzesień 2006.

3. Instrukcja obsługi aparatu Magnetronic MF-10.
4. Marino A. A., Becker R. O.: Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields: a review. *Physiological Chemistry and Physics* 1977, 9, p. 131 – 147.
5. Markov M. S.: Pulsed electromagnetic field therapy history, state of the art and future, Springer Science+Business Media, LLC 2007.
6. Mokronowska J., Straburzyńska-Lupa A.: Ocena skuteczności przeciwbólowej zmiennego pola magnetycznego małej częstotliwości w leczeniu chorób narządu ruchu w świetle badań własnych, *Nowiny Lekarskie*, 71, 6, 2002.
7. Sieroń A.: Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie, α -medica Press, Bielsko-Biała, 2002.
8. Sieroń A., Bilka A.: *Pola magnetyczne w medycynie*, www.polaelektromagnetyczne.pl
9. Ślusarek B.: Pole magnetyczne w medycynie, *Elektromagnetyzm w medycynie i biologii*, PTZE, Warszawa 2004, str.73-80.
10. Zborowski M, Midura R. J., i inni.: Magnetic field visualization in applications to pulsed electromagnetic field stimulation of tissues, *Biomedical Engineering Society* 2003, vol. 31, p.195-206.
11. www.targimedyczne.pl.

Rękopis dostarczono dnia 19.10.2010 r.

MAGNETIC FIELD GENERATED BY SMALL COIL DEVICE APPLIED TO MAGNETOTHERAPY

Wojciech KRASZEWSKI, Przemysław SYREK

ABSTRACT *For many years there have been ongoing researches about the positive use of the electromagnetic fields, especially the magnetic fields. Conducted numerous experiments have shown an effective impact on the accelerated bone adhesion, healing up of wounds and many other diseases.*

The evolution of medicine and technological development allow to create new devices applied to the magnetotherapy. There are small coil applicators among them which can be used at home. Moreover, the visualization of field penetration into the limb allows to select the most desirable shape of applicator to be applied to damaged body.

