

prof. dr hab. inż. ANDRZEJ KRAWCZYK

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

mgr inż. EWA ŁADA-TONDYRA

Politechnika Częstochowska

Pole elektromagnetyczne w medycynie – historia pierwszych eksperymentów

W artykule omówiono pierwsze efektywne eksperymenty dotyczące stymulacji magnetycznej tkanek, które rozpoczęły się w drugiej połowie XIX wieku. Zapoczątkowane zostały przez dwóch uczonych. Byli to: Jacques-Arsene d'Arsonval and Silvanus P. Thompson, równołątkowie urodzeni w 1851. Obaj przyczynili się do odkrycia zjawiska magnetofofenów oraz badali zagadnienia bioelektromagnetyzmu. Ich eksperymenty pozwoliły na rozwój magnetoterapii oraz magnetostymulacji.

Electromagnetic fields in medicine – the history of the first experiments

The first effective experiments in electromagnetic stimulations of human tissues took place in the second half of the 19th century. Two scientists, Jacques-Arsene d'Arsonval and Silvanus P. Thompson, both born in 1851, were responsible for them. They created the foundations for therapeutical action of electromagnetic fields. They also discovered a phenomenon called magnetophosphenes. Those experiments are of great importance for present activity in bioelectromagnetics.

Fot. Daniel Iota/Stock.XCHING

Wstęp

Historia wykorzystania pola elektromagnetycznego w medycynie sięga czasów starożytnych. Już 600 lat p.n.e. Grecy, a później Chińczycy wykorzystywali magnetyczne właściwości niektórych minerałów, a Hipokrates próbował podobno leczyć ludzi magnesami. Jednak prawdziwe i efektywne eksperymenty dotyczące stymulacji magnetycznej ludzkich tkanek i nerwów rozpoczęły się dopiero w II połowie XIX w. Prowadzili je równoległe dwaj naukowcy: Jacques-Arsene d'Arsonval, francuski lekarz i fizyk (1851-1940) i Silvanus P. Thompson, brytyjski inżynier (1851-1916) (fot. 1.). Obaj stworzyli podstawy do wykorzystania terapeutycznego działania pola elektromagnetycznego, a także – niezależnie od siebie, odkryli zjawisko zwane magnetofofenami (gr. *magnet* – przyciągać; *phōs* – światło; *phainein* – pokazywać). Eksperymenty prowadzone przez tych pionierów odegrały istotną rolę w rozwoju bioelektromagnetyzmu.

Jacques-Arsene d'Arsonval

Urodził się 8 czerwca 1851 r. na zamku La Borie, w miejscowości St. Germain-La Porcherie, w rodzinie arystokratycznej. Jego ojciec i dziadek byli lekarzami.

Młody Arsene uczęszczał na Uniwersytet w Limoges, gdzie w wieku 18 lat zdobył tytuł licencjata z filologii klasycznej. W 1870 r. wyjechał do Paryża, gdzie w College de France poznał Claude Bernarda (1813-1878), wy-

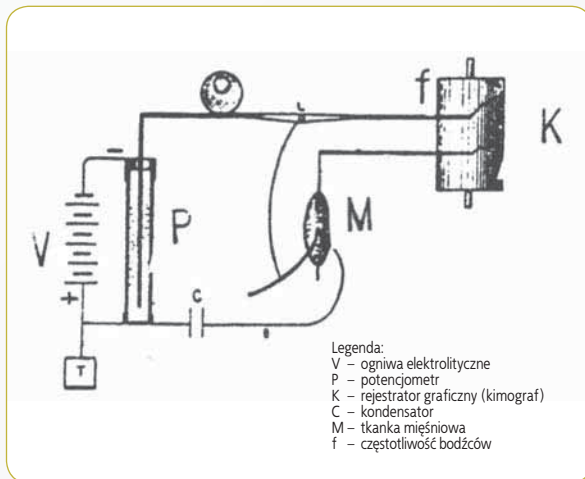
bitnego badacza i twórcę koncepcji stałego środowiska wewnętrznego (*milieu interior*). Uwielbiający eksperymenty badawcze d'Arsonval w 1873 r. został najpierw asystentem Bernarda, a później – Charlesa-Édouarda



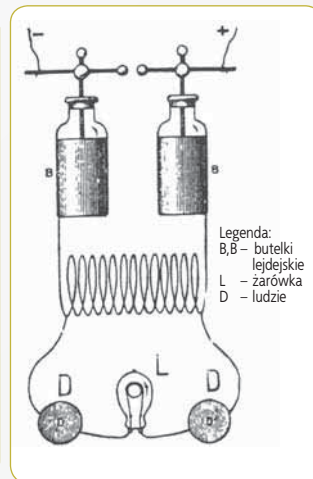
Fot. 1. Jacques-Arsene d'Arsonval i Silvanus P. Thompson
Photo 1. Jacques-Arsene d'Arsonval and Silvanus P. Thompson

Źródło: <http://www.decitre.fr/livres/Jacques-Arsene-d-Arsonval-un-medecin-limousin-a-Paris.aspx/9782911119811>

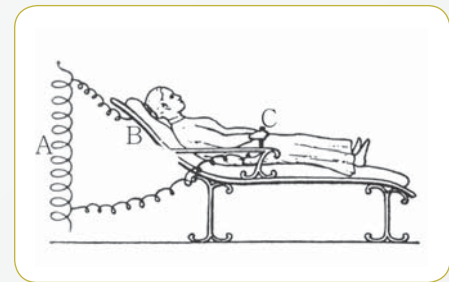




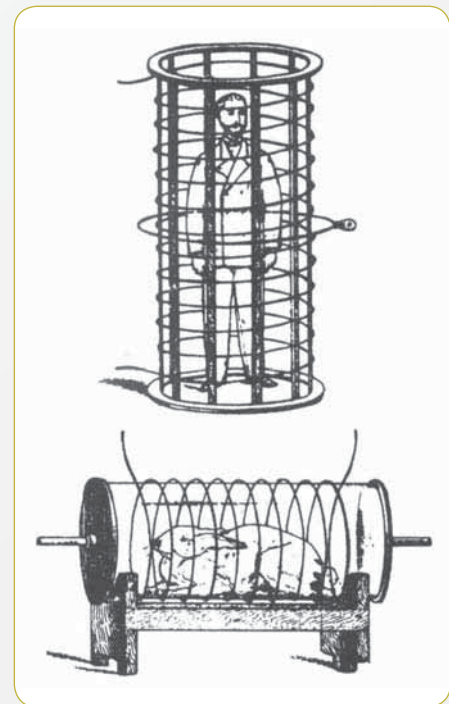
Rys. 1. Stymulator zmiennej częstotliwości
Fig. 1. Variable frequency stimulator



Rys. 2. Generator i układ stymulujący
Fig. 2. Generator and stimulating setup



Rys. 3. Stymulacja pojemnościowa
Fig. 3. Volume stimulation



Rys. 4. Stymulacja indukcyjna
Fig. 4. Induction stimulation

Brown-Séquarda (1817-1894). Po śmierci swojego mentora przejął po nim stanowisko w College de France, gdzie został wykładowcą; wybrano go także do Akademii Nauk (wiele lat później, w 1917 r., otrzymał nominację na jej przewodniczącego). Do czasu przejścia na emeryturę w 1931 r. kierował laboratorium biofizyki w Nogent-sur-Marne. Zmarł 31 grudnia 1940 r. w tym samym miejscu, gdzie urodził się prawie 90 lat wcześniej.

D'Arsonval był bardzo aktywny zawodowo – należał do Towarzystwa Biologów, był członkiem Akademii Medycznej i Akademii Nauk, działał w towarzystwach związanych z elektroterapią, fizyką, elektroniką oraz inżynierią. Tak szerokie zainteresowania d'Arsonvala miały wpływ na to, że jego odkrycia naukowe i projekty wynalazcze pochodziły z wielu różnych obszarów nauki i techniki. W 1881 r. stworzył np. projekt generatora wykorzystującego energię ciepłą oceanów, zastosowany wiele lat później na Kubie, w 1882 r. wraz Marcellem Deprezem (francuskim inżynierem) wynalazł galwanometr aperiodyczny, a 4 lata później czuły, przenośny chronometr umożliwiający pomiar czasu reakcji na bodźce zewnętrzne. Przy okazji badań nad temperaturą ciała zwierząt w 1888 r. stworzył termos.

W swej działalności naukowej w obszarze działania pola elektromagnetycznego na organizmy żywe d'Arsonval skupił się na takich problemach, jak indukcyjne i pojemnościowe ogrzewanie ciała ludzkiego (diatermia) i stymulacja magnetyczna pobudliwych tkanek przez prądy wirowe. W 1891 r. stworzył swój pierwszy stymulator o zmiennej częstotliwości, który składał się z potencjometru (V), szeregu ogniwi elektrolitycznych (P) i rejestratora graficznego (K) (kimografu), na którym były wyświetlane skurcze mięśni (M) i częstotliwość bodźców (f), (rys. 1.). Rezultaty pierwszych badań pokazały, że przy zwiększaniu częstotliwości, w celu uzyskania odpowiedzi mięśni,

intensywność bodźca musiała być zwiększona. Ze względu na ograniczenia częstotliwościowe mechanicznego stymulatora, d'Arsonval wykorzystał alternator, który zapewniał napięcie sinusoidalne o częstotliwości do 10 kHz. Za pomocą tego stymulatora o podwyższonej częstotliwości uzyskano podobne wyniki: przy wyższej częstotliwości potrzebna była wyższa wartość prądu.

Eksperymentem, stanowiącym punkt zwrotny w badaniach nad stymulacją tkanek było doświadczenie, które przeprowadził w 1893 r. Zbudował wykorzystujący oscylator Hertza układ (rys. 2.), którego końcówki połączone były z żarówką o mocy 100 W oraz dwoma osobami. Pozwolił mu on na uzyskanie prądu zmiennego o częstotliwości 500 kHz i natężeniu ok. 1A, który przechodził przez ludzkie ciało oraz żarówkę, która zaświeciła. Istotne było to, że ochotnicy odczuwali w tym czasie tylko ciepło, a nie ból. W ten sposób d'Arsonval wykazał, że człowiek może przewodzić, nie doznając przy tym uszczerbku na zdrowiu, prąd o wartości natężenia wystarczającego do rozświetlenia żarówki.

W wyniku tego eksperymentu d'Arsonval zyskał przekonanie, że prąd o dużym natężeniu może przepłynąć przez sprzężenia pojemnościowe do pacjenta. Na rys. 3. przedstawiono rzeczywistą stymulację: generator wysokiej częstotliwości (A) połączony jest z pacjentem elektrodą umieszczoną pod poduszką (B) oraz elektrodą trzymaną w ręce pacjenta (C). D'Arsonval stwierdził, że w ten sposób można przez ciało ludzkie przepuścić prąd o natężeniu większym od 300 mA i w ten sposób doprowadzić do podgrzania ciała pacjenta.

Po opracowaniu systemów grzania pojemnościowego i przewodzącego d'Arsonval rozpoczął eksperymenty z grzaniem indukcyjnym. Na rys. 4. przedstawiono królika oraz człowieka umieszczonych wewnątrz długiego solenoidu, przez który przepływa prąd o wysokiej

częstotliwości. Prąd, który pojawiał się w ciele człowieka i królika, wzbudzany był indukcyjnie (prądy wirowe).

Eksperymenty przedstawione na rys. 3. i 4. pokazują, że d'Arsonval dokonał pierwszej medycznej diatermii – ogrzewania tkanek za pomocą pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości, pod wpływem którego rozszerzają się naczynia krwionośne i zwiększa ukrwienie organizmu.

Jednym z mniej znanych, a istotnym z punktu widzenia dzisiejszych technik magnetoterapeutycznych odkryć d'Arsonvala, jest wykazanie, że silne pole elektromagnetyczne niskiej częstotliwości indukuje w żywych tkankach prądy wirowe, których natężenie jest na tyle duże, żeby tkanki te stymulować. Eksperymenty wykonywał w zakresie niskich częstotliwości pola elektromagnetycznego – 42 Hz, zbliżonej do wykorzystywanej we współczesnej magnetoterapii. Przy okazji tych badań odkrył zjawiska, które łączą pole

elektromagnetyczne z wrażeniami wzrokowymi, nazwane magnetofofenami. Tak opisał swoje odkrycie, które połączyło go z drugim bohaterem tego szkicu, Silvanusem P. Thompsonem: „Jasne plamy w polu widzenia (*phosphenes*) i zawroty głowy, a u niektórych osób omdlenia występują czasami, gdy obiekt umieszcza głowę wewnątrz cewki... Zmienne pole magnetyczne zmienia formę skurczu mięśni i tworzy w istotach żywych inne skutki...”

Prace d'Arsonvala odegrały tak ważną rolę w dziedzinie rozwoju bioelektromagnetyzmu, że Towarzystwo Bioelektromagnetyzmu (*Bioelectromagnetic Society*) ustanowiło nagrodę jego imienia dla badaczy wyróżniających się w tej dziedzinie. W 2010 r. otrzymał ją prof. Shoogo Ueno z Kyushu University (Japonia), współpracujący przez wiele lat w dziedzinie stymulacji magnetycznej tkanek z jednym z autorów tego artykułu (fot. 2.).

Silvanus Philips Thompson

Urodził się 19 czerwca 1851 r. w Settle, w Wielkiej Brytanii. Po ukończeniu studiów w Royal School of Mines w South Kensington został przyjęty do Bristol University College i wkrótce otrzymał stypendium na uniwersytecie w Heidelbergu (Niemcy). Jego pierwsza publikacja pt. *Niektóre zjawiska wywołane iskrą elektryczną* ukazała się w 1876 r. w „*Philosophical Magazine*”. W wieku zaledwie 27 lat został profesorem. W 1881 r. przeprowadził się do Clinton, gdzie zaczął pisać podręczniki naukowe, a w 1888 – do Londynu, gdzie 3 lata później został przyjęty do The Royal Society (Królewskie Towarzystwo Naukowe).

Thompson był uznanym autorytetem w dziedzinie elektryczności, magnetyzmu i akustyki. Napisał wiele książek naukowych i technicznych, z których najważniejsze (*Elementary Lesson in Electricity and Magnetism*,

Dynamo Electrical Machinery, Calculus Made Easy) doczekały się ogółem 40 wydań i wznowień. Był także twórcą biografii lorda Kelvina, Michaela Faradaya i Williama Gilberta, wielkich badaczy elektromagnetyzmu. Wydał pomnikowe dla historii magnetyzmu dzieło Williama Gilberta *De Magnete*, a na język angielski przetłumaczył dzieło Christiana Huygensa: *Treatise on Light*.

Thompson był pierwszym przewodniczącym Roentgen Society (później British Institute of Radiology), założonego w 1897 r. i skupiającego uczonych z obszaru medycyny, fizyki oraz technik fotograficznych, przewodniczącym IEE (Institution of Electrical Engineers) oraz Królewskiej Szwedzkiej Akademii Nauk; przede wszystkim jednak pedagogiem – bardzo istotny był dla niego rozwój i poziom kształcenia.

Znany był też jako świetny mówca. William Hale White, angielski lekarz i historyk medycyny powiedział o nim po jednym z wykładów: „Publiczność była zachwycona... Thompson był księciem wśród wykładowców. Nigdy nie brałem udziału w lepszym wystąpieniu lub bardziej pamiętnym spotkaniu medycznym.”

Thompson wniósł również wkład w rozwój maszyn elektrycznych. Jego trzydziestoletnie badania oscylowały głównie wokół tematu energii elektrycznej, magnetyzmu i optyki. Zakończył się prezentacją wielu dokumentów, z czego znaczna część została opublikowana w formie książki.

Był głęboko zaangażowany w badanie promieni X i zjawiska fluorescencji. Uważa się go również za prekursora przezczaszkowej stymulacji magnetycznej (TMS) – już w 1910 r. wykonywał próby oddziaływania polem magnetycznym na mózg.

Cała jego działalność koncentrowała się na zjawiskach bioelektromagnetyzmu z wykorzystaniem współczesnych pojęć. W 1910 r.

opublikowano w piśmie Royal Society artykuł *Skutki fizjologiczne zmiennego pola magnetycznego (A Physiological Effect of an Alternating Magnetic Field)*, *Proceedings of Royal Society B* July 21, 1910 82:396-398), w którym opisał odkryte przez siebie reakcje wzrokowe na pole elektromagnetyczne – magnetofofeny. Parametry jego eksperymentu były następujące: indukcja magnetyczna do 100 mT, częstotliwość 50 Hz. Współczesne studia pokazują, że stymulacja, wywołująca magnetofofeny, może być znacznie niższa – wartość skuteczna indukcji magnetycznej 10 mT i częstotliwość 20 Hz. Zmarł 12 czerwca 1916 r.

Podsumowanie

Stymulacja elektromagnetyczna tkanek proponowana przez Jacquesa Arsonvala i Silvanusa P. Thompsona była początkiem diatermii, magnetoterapii i przezczaszkowej stymulacji magnetycznej – technik elektromagnetycznych wykorzystywanych we współczesnej medycynie. Szerokie wykorzystanie terapii elektromagnetycznych we współczesnej medycynie potwierdza trafność intuicji naszych antenatów. Ciekawą kontynuację w roku 2010 uzyskało odkrycie przez obu badaczy zjawisko magnetofofenów – zostało ono uznane przez ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) za jeden z dwóch czynników, stanowiących o ograniczeniu pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości. Prace nad standaryzacją pola elektromagnetycznego stanowią dzisiaj jedno z podstawowych zadań, podejmowanych w celu ochrony pracownika przed jego oddziaływaniem.

Bohaterowie artykułu, równolatkowie wzór dla współczesnych badaczy, zajmujących się medycyną elektromagnetyczną oraz ekologią elektromagnetyczną, a skrótowne choćby prześledzenie ich losów może być inspiracją do dalszych badań naukowych nad polami elektromagnetycznymi.

LITERATURA

- L. A. Geddes *D'Arsonval' Physician and Inventor*. "IEEE Engineering in Medicine and Biology", Vol.18, 4, 1999
- J. S. Thompson, H.G. Thompson *Silvanus Phillips Thompson – His Life and Letters*. London, T. Fisher Unwin, Ltd., 1920
- T. Zyss (red.) *Technika przezczaszkowej stymulacji magnetycznej; zagadnienia aparaturowe*. Wydawnictwo Lekarskie. Seria Wydawnicza, Biblioteka Elmiko, Kraków 2009
- ICNIRP, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz-100 kHz)*, Health Physics. Vol.99, 6, 2010



Fot. 2. Eksperyment z przezczaszkową stymulacją magnetyczną (z lewej – prof. Shoogo Ueno)
Photo 2. An experiment involving subcranial magnetic stimulation (to the left – prof. Shoogo Ueno)