

Rozwój wiedzy o elektryczności i elektroterapii ze szczególnym uwzględnieniem promieni X i leczenia raka**Część II
Od Alessandro Volty do Jamesa Clerka Maxwella**Richard F. Mould¹, Jesse N. Aronowitz²

Pierwsza część tego artykułu opisująca historię elektryczności i elektroterapii skończyła się na wkładzie Charlesa Coulomba (1736-1806), Luigi Galvaniego (1737-1798), Pierre'a Bertholona (1742-1800) i Jeana-Paula Marata (1743-1793). Ten drugi odcinek w chronologicznym porządku rozpoczyna się historią Alessandro Volty (1745-1827), a kończy się na postaciach Lorda Kelvina (1824-1907) i Jamesa Clerka Maxwella (1831-1879). Końcowa część (która zostanie opublikowana w Nowotworach 2/2007), rozpoczyna się od Sir Williama Crookesa (1832-1919) i zamyka na elektroterapeutach z początków XX wieku. Wówczas terapia promieniami X i brachyterapia radem zastąpiły elektroterapię jako alternatywę dla operacji w leczeniu nowotworów.

Evolution of the knowledge of electricity and electrotherapeutics with special reference to X-rays & cancer**Part 2.
Alessandro Volta to James Clerk Maxwell**

The first part of this article [1] recounting the history of electricity and of electrotherapeutics closed with the contribution of Charles Coulomb (1736-1806), Luigi Galvani (1737-1798), Pierre Bertholon (1742-1800) and Jean-Paul Marat (1743-1793). This second installment continues chronologically with the story with Alessandro Volta (1745-1827) and ends with Lord Kelvin (1824-1907) and James Clerk Maxwell (1831-1879). The concluding part (to be published in Nowotwory 2/2007), commences with Sir William Crookes (1832-1919) and closes with the electrotherapists of the early 20th century. By then, X-ray therapy and radium brachytherapy had replaced electrotherapy as the alternative to surgery in the treatment of cancer.

Słowa kluczowe: elektroterapia, elektryczność, promienie X, rak**Key words:** electrotherapeutics, electricity, X-rays, cancer**Alessandro Volta 1745-1827**

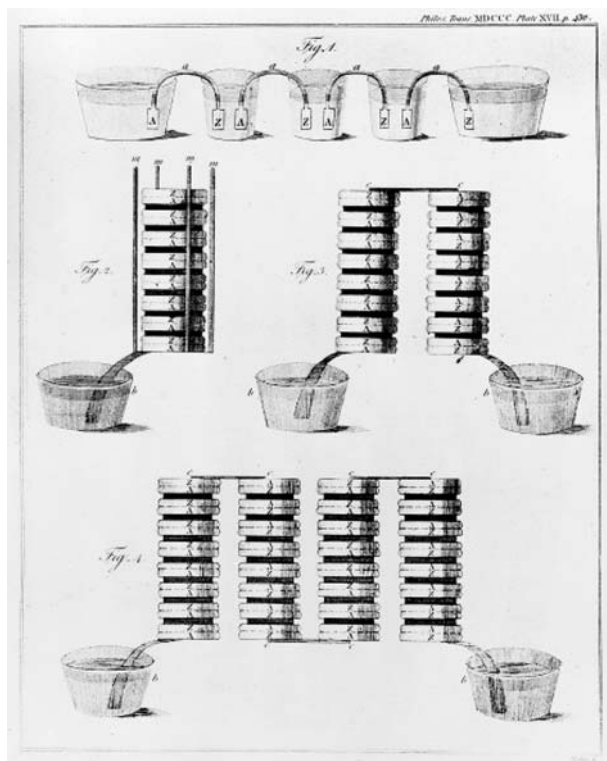
Volta, profesor fizyki na uniwersytecie w Pawii, odkrył, że ładunek elektryczności niezbędny do wywołania skurczy w nogach świeżo zabitej żaby był 50-60 razy mniejszy niż ten, który można wykryć za pomocą najbardziej czułego elektrometru, jaki był wówczas dostępny [2]. Ten nerwo-mięśniowy zespół, nazwany przez Voltę „zwierzęcym elektrometrem”, miał być używany do mierzenia minimalnych prądów przez około 30 lat. Kilka lat później ustalił, że sprzężenie różnych metali wytworzyło prąd i było siłą elektromotoryczną w preparacie żabiej nogi Galvaniego[§]. (Galvani wierzył, że tkanki same z siebie wytwarzają „zwierzęcą elektryczność”).

Volta wykorzystał to odkrycie w 1800 roku, aby skonstruować pierwsze źródło elektryczności – stos gal-

¹ 41 Ewhurst Avenue
South Croydon
Surrey CR2 0DH
United Kingdom

² Department of Radiation Oncology
University of Massachusetts Medical School
Levine Cancer Center
33 Kendall Street
Worcester MA 01605
USA

[§] Historie Luigi Galvaniego i Alessandro Volty spletają się ze sobą. Część I tej pracy, opublikowaną w zeszycie 6/2006 *Nowotworów* zamyka postać Galvaniego (1737-1778).



Ryc. 1. Stos Volty. Ciemne warstwy w stosie na środku i u dołu ryciny to kawałki nasączonej solanką tektury. Na górze ryciny znajduje się jego 'łańcuch naczyń' (*couronne de tasses*), składający się z szeregów naczyń zawierających solankę lub rozcieńczony kwas. naczynia połączone są paskami metalowymi, w połowie z cynku, a w połowie z miedzi. Różnica w potencjale pomiędzy pierwszym, a ostatnim naczyniem jest proporcjonalna do ilości par metalowych pasków. [3] (publikujemy dzięki uprzejmości The Wellcome Trust, London)

waniczny: słupek składający się z na przemian krążków srebra i cynku (albo miedzi), oddzielonych nasączoną roztworem soli tekturą (Ryc. 1), który produkował stały prąd elektryczny [3]. Późniejsze wersje były wyposażone w paski albo krążki różnych metali zanurzonych w solance albo słabo kwaśnym elektrolicie.

Rycina 2 przedstawia Volta demonstrującego swoje ogniwo Napoleonowi, który – prawdopodobnie rozumiejąc znaczenie tego odkrycia – odznaczył go złotym medalem i przyznał mu dożywotnią pensję.

W ciągu kilku lat inni badacze konstruowali ogniwa i przeprowadzali eksperymenty. W roku 1800 chemik William Nicholson (1753-1815) i chirurg Anthony Carlisle (1768-1840) elektrolitycznie rozłożyli wodę na wodór i tlen [4]. William Cruickshank (1745-1800) wykonał ogniwo o większej mocy z prostokątnych płyt cynkowych i miedzianych w izolowanym żywicą drewnianym korycie [4-6]. W roku 1801 William Hyde Wollaston (1766-1828) dowiódł identyczności galwanicznych prądów (*voltaic currents*) i elektryczności wytwarzanej przez tarcie (*frictional electricity*), dowodząc, że oba zjawiska mogą dysocjować wodę [7].

Humphry Davy 1778-1829

W roku 1806 wykład Royal Society Bakerian Humphry Davy'ego [8] zawierał pierwsze klarowne przedstawienie mechanizmów elektrolizy i działania baterii galwanicznej [4].



Ryc. 2. Volta prezentujący Napoleonowi swoje ogniwo w Paryżu w 1801 roku (publikujemy dzięki uprzejmości The Science Museum, South Kensington, London)

Hans Christian Oersted 1777-1851

Od dawna podejrzewano, że pomiędzy magnetyzmem a elektrycznością istnieje zależność. Wiedziano, że rozładowanie pioruna magnetyzuje stalowe obiekty, ale niemal wszystkie próby powtórzenia tych efektów z elektrycznością zakończyły się niepowodzeniem.

Następnie w 1820 roku w Kopenhadze farmaceuta Hans Oersted dowiódł, że igła magnetyczna ustawia się pod kątem prostym do najbliższego przewodu z przepływającym prądem elektrycznym. Przyrząd skonstruowany na podstawie tej zasady został nazwany „galwanometrem” (za jego sprawą „zwierzęcy elektrometr” Galvaniego stał się przestarzały).

André Marie Ampère 1775-1836

W roku 1821 francuski matematyk Ampère odkrył, że przewody przewodzące prąd przyciągają bądź odpychają się nawzajem. Dociekania doprowadziły go do złożonej teorii i dziedziny, którą opatrzył mianem: „elektrodynamiki”. Obecnie wiadomo, że te działania są czysto magnetyczne i zależą od obciążenia [9]. Poniżej podano cztery prawa dotyczące skośnych obwodów odkrytych przez Ampère’a, które tworzą podstawy jego teorii oddziaływania prądów elektrycznych przepływających przez przewody.

(1) Dwa równoległe odcinki przewodów przyciągają się nawzajem, jeśli prądy przepływają w nich w tym samym kierunku, natomiast odpychają się, jeśli prądy płyną w kierunkach przeciwnych.

(2) Dwa odcinki przewodów krzyżujące się ukośnie przyciągają się, jeśli obydwa prądy biegną albo w stronę, albo z punktu przecięcia, natomiast odpychają się, jeśli jeden biegnie od, a drugi – w stronę punktu.

(3) Gdy element obwodu wywiera siłę na inny element, siła ta zawsze popycha ten inny w kierunku prostopadłym do pierwotnego.

(4) Siła wywierana pomiędzy dwoma równoległymi fragmentami obwodu jest proporcjonalna do iloczynu natężenia (mocy) dwóch prądów, do długości fragmentów i odwrotnie proporcjonalna do odległości pomiędzy nimi.

Georg Simon Ohm 1787-1854

Wzór matematyczny wyrażający zależność pomiędzy prądem, siłą elektromotoryczną i oporem elektrycznym był dziełem Georga Ohma. Prawo Ohma stwierdza, iż prąd w obwodzie (i) jest wprost proporcjonalny do siły elektromotorycznej (E) i odwrotnie proporcjonalny do oporu elektrycznego (R). To znaczy, $i = E/R$ (w systemie CGS E jest mierzone w voltach, R w omach, a i w amperach).

Ohm opublikował swoje wyniki w roku 1827, lecz jego pomysły były początkowo lekceważone przez kolegów i został zmuszony do zrezygnowania ze skromnego stanowiska nauczyciela w Jezuitskim Gimnazjum w Kolonii. Żył w biedzie przez następne sześć lat, do czasu, gdy zaproponowano mu stanowisko Dyrektora

Politechniki w Norymberdze. Natomiast w 1841 roku Royal Society w Londynie uznało znaczenie jego odkrycia i w następnym roku został jego członkiem. W roku 1854 otrzymał swoją pierwszą katedrę na uniwersytecie w Niemczech – katedrę fizyki eksperymentalnej na Uniwersytecie w Monachium.

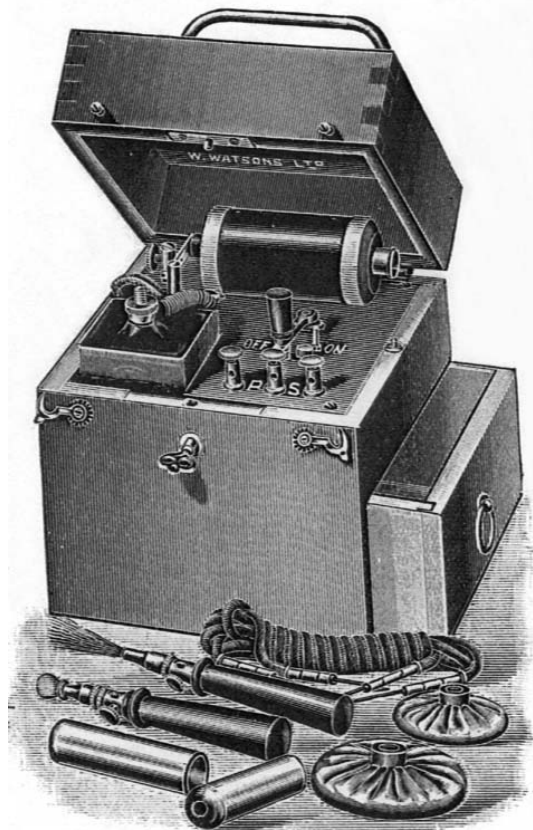
Michael Faraday 1791-1867

Faraday, praktykant introligatora, ośmielił się zwrócić do Sir Humphry’ego Davy’ego w roku 1812 z prośbą o przyznanie stanowiska asystenta naukowego w Royal Institution. Podczas rozmowy kwalifikacyjnej Davy odkrył, że Faraday był samoukiem, który zdobył wiedzę, czytając oprawiane przez siebie książki. Davy zaoferował mu tymczasowe stanowisko, a w 1825 roku Faraday został kierownikiem laboratorium. W roku 1864 zaproponowano mu prezesurę Royal Institution, lecz odmówił.

W latach trzydziestych XIX wieku Michael Faraday studiował wzajemne relacje elektrycznych i magnetycznych pól i dowiódł, że poruszające się fale magnetyczne, lub zmienne pole elektryczne, może wywoływać prąd w znajdującym się obok obwodzie: zasada indukcji elektromagnetycznej. Te odkrycia doprowadziły do wynalezienia generatora (lub prądnicy), który wykorzystuje poruszający się magnes do wytwarzania zmiennego prądu. Doprowadziło to również do wynalezienia cewki indukcyjnej, dzięki której wytworzono występujące na przemian wysokie napięcie prądu z przerywanego prądu o niskim napięciu. Zastosowanie występujących na przemian prądów zmiennych w medycynie stało się znane jako faradyzm *faradism*, dla odróżnienia od galwanoterapii, która wykorzystuje stały prąd wytworzony w elektrochemicznej reakcji.



Ryc. 3. „Faradyzacja”, rok 1873 [9]



Ryc. 4. Przyrządy reklamowane w katalogu z 1918 roku, w większości aparaty rentgenowski. Określane jako 'baterie dr Spamera'. Dołączone zostało także suche ogniwo, z tyłu widać cewkę indukcyjną, a z przodu wybór elektrod. Na przodzie cewki znajduje się przycisk do włączania i wyłączania, przed którym znajdują się trzy końcówki, z których dwie oznakowane są P i S, dla podstawowego i wtórnego prądu. Baterie do galwanoterapii były zazwyczaj sprzedawane przez tą firmę, z wyborem 20, 24, 28, 32 lub 40 ogniw [11]

Rycina 3 ilustruje wzorcową metodę „faradyzacji” [10] z roku 1873. Rycina 4 przedstawia odpowiedni aparat z katalogu aparatów elektromedycznych i rentgenowskich z roku 1918 [11].

Dla porównania z Ryciną 3, Rycina 5 pochodzi z lat 20. XIX wieku i pokazuje zastosowania galwanoterapii u pacjenta przez elektroterapeutę. Dzięki indukcji elektromagnetycznej skonstruowano cewkę indukcyjną i transformator, który wytwarzał silne prądy elektryczne o wysokim napięciu wykorzystywane przez Roentgena i innych w lampach rentgenowskich – Ryciny 6-8 [12, 13].

Joseph Henry 1797-1878

Henry, pierwszy sekretarz *Smithsonian Institution*, był, obok Benjamina Franklina, czołowym ówczesnym naukowcem amerykańskim. Szczególne znaczenie miał jego wkład w dziedzinie elektromagnetyzmu. Odkrył zjawisko samoindukcji. Oersted i inni zaobserwowali magnetyczne działania prądu, ale to Henry jako pierwszy zastosował wielowarstwowe uzwojenie izolowane przędzą jedwabną, aby wytworzyć pole elektromagnetyczne.

Elektromagnes Henry’ego wykonany dla Uniwersytetu w Yale mógł podnieść ciężar 2300 funtów, a póź-

niejszy, skonstruowany dla Princeton – 3500 funtów. Miało to miejsce w Nassau Hall, w Princeton – Henry umieścił dwa długie przewody, jeden z przodu i jeden za budynkiem; dowodząc, że był w stanie przesłać sygnał przez indukcję poprzez budynek. To była najwcześniejsza prezentacja telegrafu bez drutu. Co więcej, będąc w Princeton, (aby przesyłać sygnały pomiędzy swoim laboratorium a domem) wykorzystywał system ze zdalnie sterowanym elektromagnesem, aby przełączać lokalne obwody. Było to w rzeczywistości wynalezienie przekaźnika magnetycznego. Podobny system był wykorzystany przez Samuela Morse’a (1791-1872), któremu przypisuje się wynalezienie telegrafu, pomimo że znał wcześniejsze dokonania Henry’ego.

Guillaume Duchenne 1806-1875

Duchenne był pionierem w dziedzinie neurologii i jednym z pierwszych lekarzy wykorzystujących „faradyzm”. Swoją karierę rozpoczął jako lekarz w rodzinnym mieście Boulogne, lecz jego fascynacja elektroterapią sprawiła, że został samoukiem w dziedzinie fizyki (zaprojektował własny sprzęt) i ostatecznie przeprowadził się do Paryża. Zamiast ubiegać się o intratną posadę w szpitalu, przemierzał oddziały paryskich szpitali publicznych, poszukując neurologicznych przypadków dla swoich badań. Z początku postrzegany jako postać nieco ekscentryczna, ostatecznie został uznany przez paryskich kolegów za wybitnego neuropatologa. Jednym z jego kolegów był francuski neuropatolog Jean-Martin Charcot (1825-1893).

Duchenne opracował metodę – faradyzację miejscową – polegającą na stymulacji nerwów wilgotnymi elektrodami, bez naruszania skóry. Ładunki elektryczne w dużej mierze pozostawały na powierzchni skóry i wymagały bolesnych wyładowań elektrycznych, aby pobudzać leżące poniżej nerwy i mięśnie. Potępił galwanoterapię, ponieważ prądy wysuszały i uszkadzały skórę.

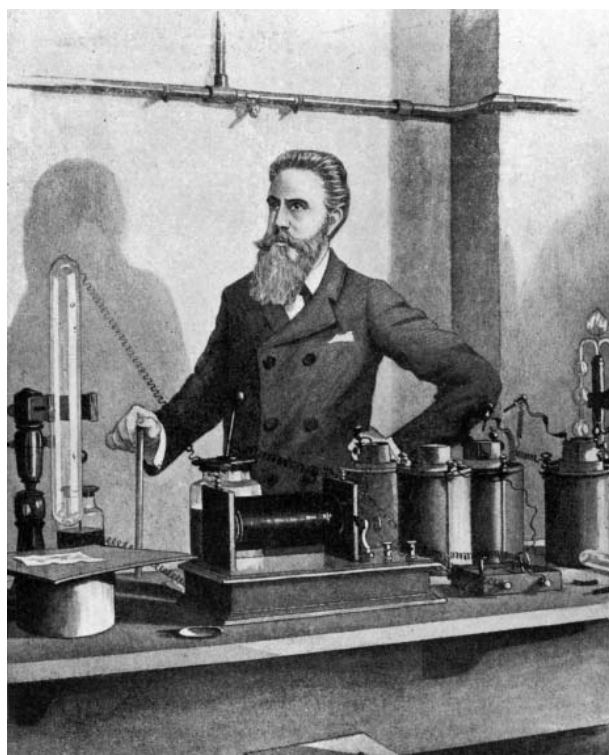
Ciekawym zastosowaniem faradyzmu było użycie elektrycznej stymulacji do zapobiegania atrofii mięśni w chorobach zwyrodnieniowych. Duchenne jako pierwszy podał pełny opis – z cechami klinicznymi, elektrycznymi i patologicznymi – choroby określanej obecnie jako dystrofia mięśniowa jego imienia [15].

Duchenne sfotografował pobudzenie mimiki twarzy stymulacją elektryczną, dowodząc, że mięśnie mimiczne były zaopatrywane przez oddzielne nerwy.

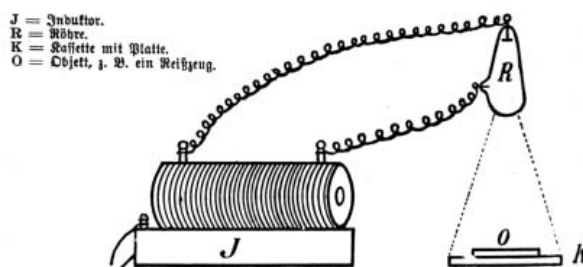
Eksperymenty Duchenne’a z 1856 roku zostały przeprowadzone na psychicznie chorych pacjentach w Hôpital Salpêtrière. Główny obiekt jego doświadczeń był dotknięty niemal całkowitą amnezją i wyrażał zgodę na uciążliwe, powtarzające się eksperymenty (Rycina 9). Praca ta została opublikowana w roku 1862 pod tytułem *The Mechanisms of Human Facial Expression* [14, 15].



Ryc. 5. Napis na tym olejnym obrazie Edmunda Bristowa z 1824 roku głosi: „Medyczna elektryczność dla ubogich między 8 a 10 rano za darmo. Stawianie baniek”. (publikujemy dzięki uprzejmości The Wellcome Trust, London)



Ryc. 6. Ta ilustracja z *The Windsor Magazine* z kwietnia 1896 roku to udana podobizna Roentgena, lecz znajduje się na niej jeden oczywisty błąd: lampa jest cylindryczna, a nie – jak miało to miejsce w rzeczywistości – w kształcie gruszki [12]

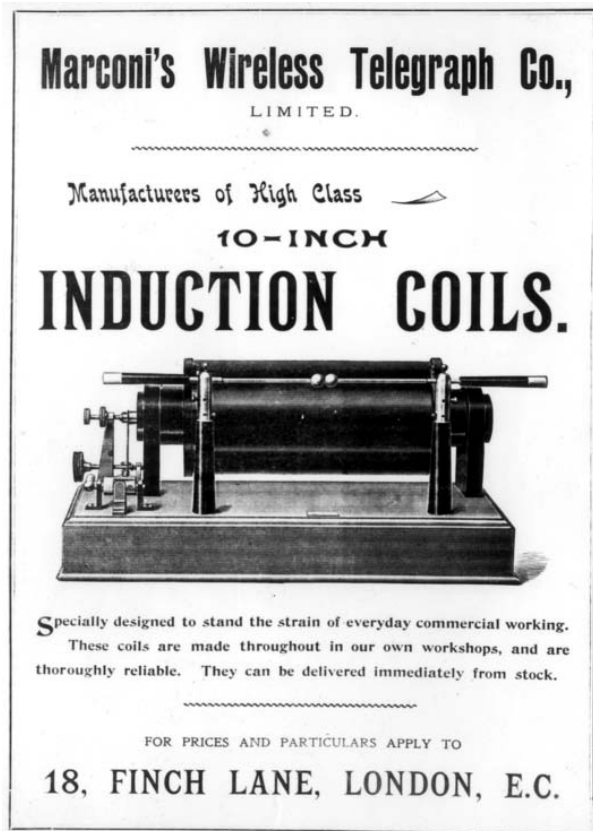


Ryc. 7. Obwód elektryczny lampy rentgenowskiej (baterie nie zostały pokazane) w niemieckiej broszurce z 1896 roku. J = izolator, R = lampa, K = klisza fotograficzna, O = przedmiot, który ma zostać prześwietlony za pomocą promieni X [13]

Carlo Matteucci 1811-1868 i Emil du Bois-Reymond 1818-1896

Profesor fizyki z Pizy, Carlo Matteucci, rozwijając dzieło Galvaniego, wykazał, że prąd elektryczny towarzyszy każdemu uderzeniu serca. Wykorzystał preparat, w którym wyizolowane nerwy z kończyny żaby były używane jako czujniki elektryczne, a drgniecie mięśnia traktowano jako widoczny znak działania elektryczności [16]. W roku 1846 wynalazł kimograf, używany przez fizjologów do zapisywania ciśnienia krwi.

Nie po raz ostatni wykorzystywano kończynę żaby jako przedmiot badania. W roku 1896 John Macintyre



Ryc. 8. Cewki indukcyjne reklamowane w *Journal of the Röntgen Society* z 1901 roku. Cewki, nazywane cewkami Ruhmkorffa, od nazwiska Heinricha Ruhmkorffa (1803-1877) sprzedawało wiele komercyjnych przedsiębiorstw. Po pracy w Niemczech (w charakterze praktykanta mechanika) i w Anglii (wraz z wynalazcą prasy hydraulicznej Josephem Brahmahem (1748-1814)) w 1855 roku Ruhmkorff otworzył w Paryżu sklep ze sprzętem elektrycznym. W roku 1858 Napoleon III przyznał mu nagrodę w wysokości 50 000 franków za najważniejsze odkrycie zastosowania elektryczności – cewkę skonstruowaną w roku 1851

(1857-1928), elektryk medyczny w Glasgow Royal Infirmary, posłużył się nogą żaby, aby zaprezentować ruchome obrazy radiograficzne (*cineradiography*) – Rycina 10 [17].

Niemiecki lekarz i fizjolog Emil du Bois-Reymond (1818-1896) rozszerzył eksperymenty Matteucciego, wykazując, że mięśnie i nerwy wytwarzają prądy elektryczne. Te fizjologiczne rewelacje dostarczyły racjonalnych przesłanek dla elektroterapii.

Golding Bird 1814-1854

Prace Goldinga Birda na temat elektroterapii wywierały istotny wpływ w latach 30. XIX w. Jego doświadczenia odbywały się w tzw. 'Electricity Room' w Guy's Hospital w Londynie. Badania były przeprowadzane na ludności z ubogich warstw robotniczych.

Cykl znaczących wykładów na temat elektrofizjologii, który Bird wygłosił dla Royal College of Physicians w 1847 roku, nakreślał związek pomiędzy biologią i elektrycznością, zastępując doświadczalne zastosowanie elektroterapii podejściem racjonalnym [18]. Prowadził szczegółowe historie swoich pacjentów: jedna z nich opisuje przypadek piętnastoletniej dziewczyny z histe-

rycznym porażeniem lewej połowy ciała po urazie kostki. Jej zaburzenia neurologiczne zostały zniwelowane przez dwutygodniową serię codziennych elektrycznych wstrząsów od kości krzyżowej do palców u stóp.

Robert Remak 1815-1865

Remak rozpoczął swoją karierę medyczną jako neuroanatom; szereg neurologicznych struktur, które odkrył, zostały nazwane od jego nazwiska. Przedstawił myśl, że szybki wzrost liczby zachodzi dzięki podziałowi istniejących wcześniej komórek, oraz opisał (i nazwał) trzy listki zarodkowe embrionu: nic dziwnego, że uznaje się go za ojca embriologii. Jednak odmówiono mu awansu akademickiego na uniwersytecie w Berlinie, ponieważ nie wyrzekł się wyznania judaistycznego. Pełen goryczy zrezygnował ze swojego stanowiska i poświęcił się rozwojowi kariery w drugiej dziedzinie, elektroterapii. Jego neuroanatomiczne wykształcenie było nieocenione jako orędownika elektroterapii. Został liderem niemieckich galwanoterapeutów, między innymi Wilhelma Erba (1840-1921), pioniera w dziedzinie elektrodagnostyki.

Heinrich Geissler 1815-1879 i Johann Hittorf 1824-1914

Johann Heinrich Geissler był niemieckim dmuchaczem szkła. O jego nazwiska zostały nazwane pompa rtęciowa Geisslera, zaprojektowana w 1855 roku, i rurka Geisslera. W roku 1854 otworzył w Bonn sklep ze sprzętem naukowym. Produkował szklane rurki o różnych skomplikowanych kształtach. Za pomocą nowej pompy większa ilość powietrza mogła być wydobywana ze szklanych rurek, aby wytworzyć stosunkowo wysoką próżnię, ulepszając w ten sposób dotychczas dostępne. Dodatkowym udoskonaleniem było użycie platynowych końcówek, które przy ogrzaniu rozprężyły się tak jak szkło.

Geissler wytwarzał luminescencyjne kolorowe efekty przez zastosowanie prądów o wysokim napięciu z cewki Ruhmkorffa (Rycina 8) i wpuszczając niewielkie ilości różnych gazów do swoich rurek. Dwa cytaty z 1897 roku pokazują wpływ, jaki Geissler wywarł na naukowcach. Pod koniec XIX wieku pisano: „Piękne jarzenie rurek Geisslera nadało atrakcyjności badaniu (wyładowań elektrycznych)”; a także „Rurki Geisslera wywołują jarzenia o wielu barwach, rywalizując pod względem piękna z ulotnymi odcieniami zorzy polarnej” [19].

Jeden z najwcześniejszych pomiarów dla kontroli jakości lamp rentgenowskich polegał po prostu na obserwowaniu barwy szklanej żarówki podczas wytwarzania promieni X. Rycina 11 przedstawia samoregulującą się lampę rentgenowską wyprodukowaną przez Queen & Company of Philadelphia przed 1904 rokiem [20, 21]. Ciemna zielona barwa (Rycina 11a) została wytworzona, gdy lampa pracowała w warunkach wysokiej próżni: jaśniejszy zielony kolor można było zaobserwować, gdy lampa działała w sposób właściwy.

Barwę czerwoną (Rycina 11b) obserwowano wkrótce po przebiciu. Fluorescencja zależała od rodzaju szkła

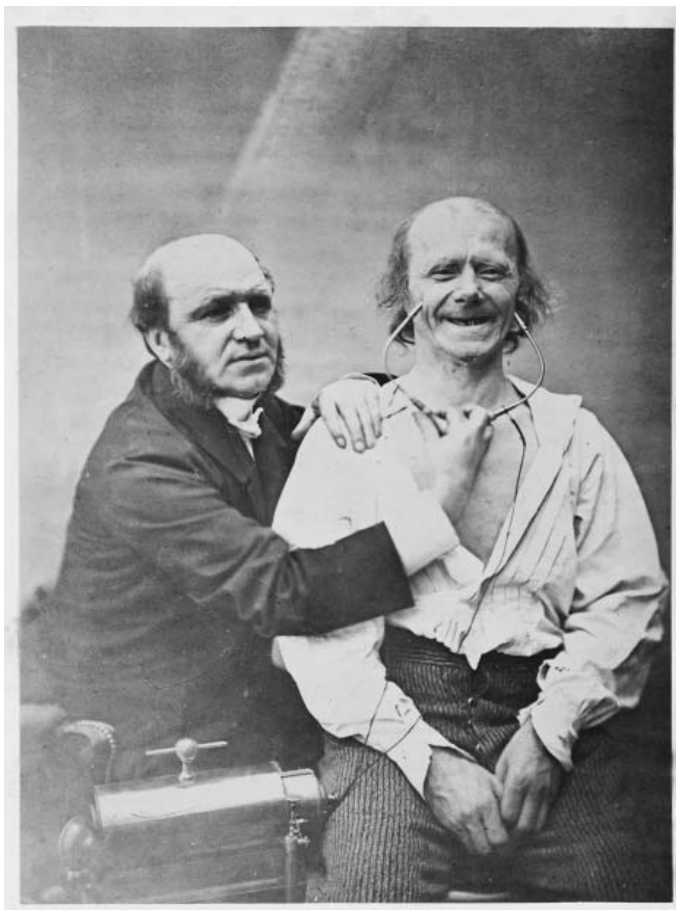
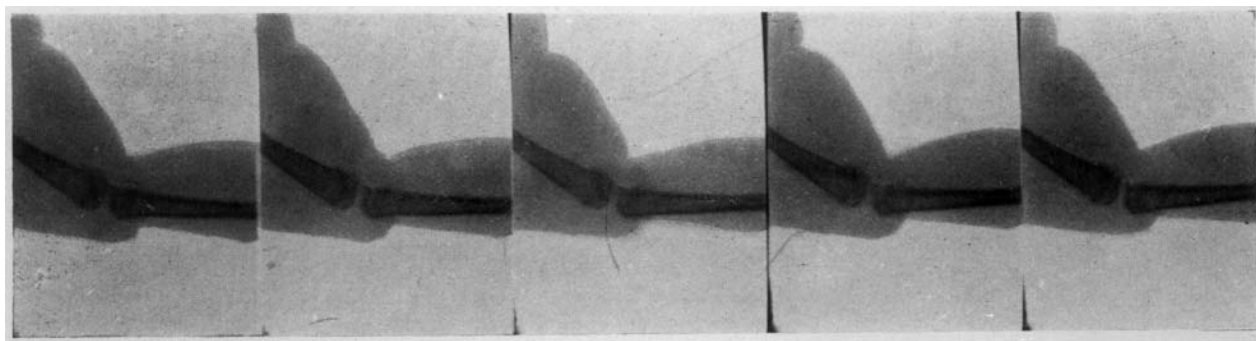


Figure 9a.



Figure 9b

Ryc. 9. Duchenne stosuje elektrody u pacjenta (a). Przykłady ośmiu wyrazów twarzy (b). (a publikujemy dzięki uprzejmości The Science Museum, South Kensington, London; b publikujemy dzięki uprzejmości The Wellcome Library, London)



Ryc. 10. Pierwsza prezentacja dynamicznej radiografii (*cineradiography*), rok 1896 [17]

z którego wykonana była żarówka. Szkło we wczesnych lampach zawierało zazwyczaj krzemiany potasu, sodu i wapnia; czasem także ołów, magnez, aluminium i bor.

Większość lamp rentgenowskich pochodzących z Niemiec świeciła na żółto-zielono, jako że zazwyczaj wykonane były ze szkła potasowego. Lampy wyprodukowane

w Wielkiej Brytanii były zwykle wytwarzane ze szkła ołowianego i świeciły na niebiesko [22].

Julius Plücker (1801-1868) był matematykiem i fizykiem; studiował zarówno w Niemczech, jak i we Francji. Wykorzystując rurki Geisslera, zaobserwował fluorescencję szkła przy wyładowaniach elektrycznych w rurkach

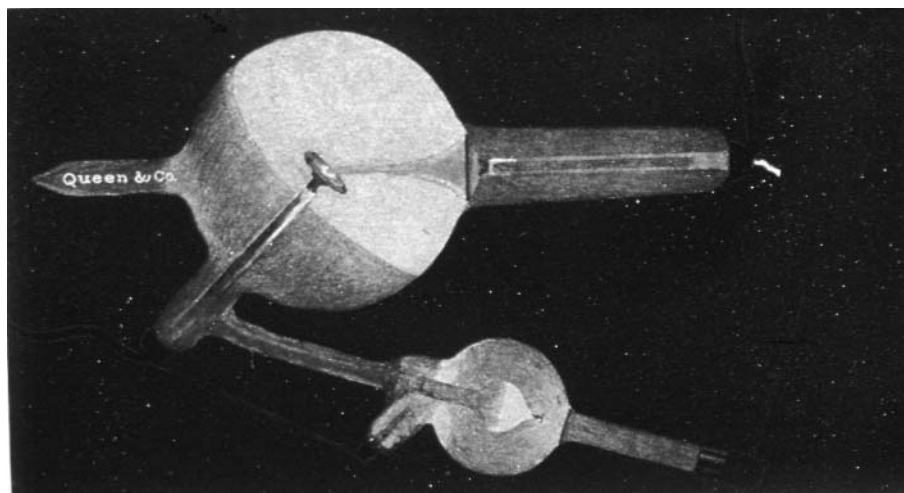


Figure 11a

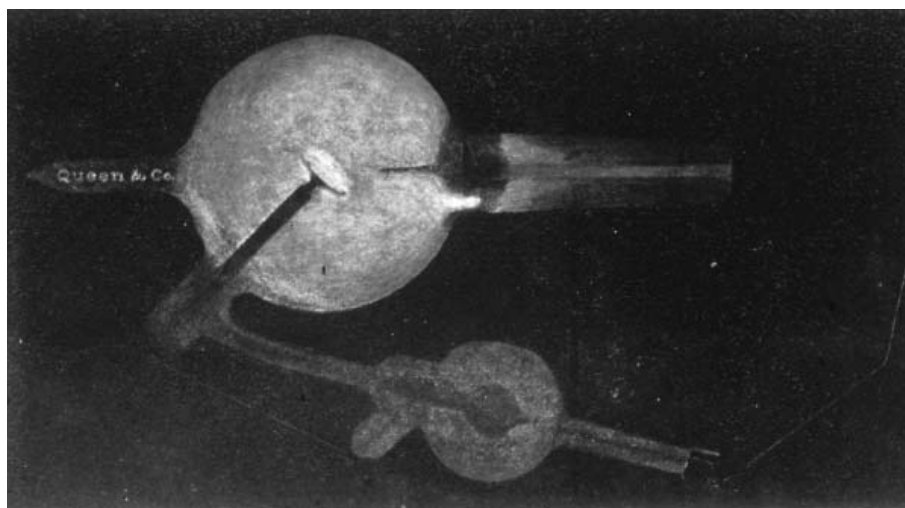


Figure 11 b

Ryc. 11. Zapewnienie jakości przez obserwację fluorescencji szkła lampy rentgenowskiej. (a) Niska próżnia wytworzyła ciemny zielony kolor (b) Gdy lampa została przebita, barwa zmieniła się na czerwoną. Te kolorowe fotografie ukazały się w podręczniku w 1904 i 1907 roku [19, 20]

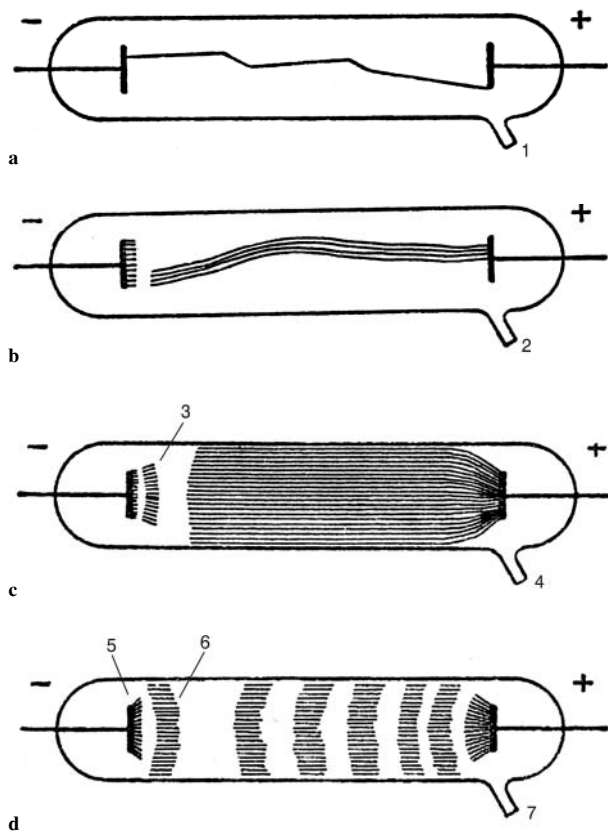
próżniowych naprzeciw jednej z elektrod. Zaobserwował również promienie katodowe, używając rurek Geisslera w 1859 roku.

Johan Wilhelm Hittorf (1824-1914), uczeń Juliusa Plückerera, zrobił rury do wyładowań elektrycznych ze znacznie wyższą próżnią, niż udało się to Plückerowi czy Geisslerowi. Używając rurki w kształcie litery L [23], zauważył, że wyładowanie elektryczne zawsze odbywa się w odnodze z elektrodą ujemną.

Dopiero po kilku latach Eugen Goldstein (1850-1930) użył terminu „promienie katodowe”, aby opisać widzialny strumień pomiędzy elektrodami wzbudzonych rurek próżniowych. Do wczesnych lat 30 XX wieku, książki fizyczne o promieniach X często przedstawiały zagadnienie ograniczając się do wyjaśnienia prostych rurek do wyładowań i wzmianki o Geisslerze (Rycina 12) [24, 25].

Schall w 1932 roku opisał to zjawisko w następujący sposób [25]: „Gdy powietrze w rurce jest usuwane dopóki ciśnienie wewnątrz spadnie do 1/100 atmosfery, tak że słupek rtęci w barometrze opadnie z 760 mm do 8 mm, trzaskające iskry o ostrych brzegach (Rycina 12a) zmieniają się w puszyste, bezszelestne, podobne do gąsienicy pasmo (Rycina 12b).

Przy ciśnieniu 1 mm słupka rtęci średnica ładowania wzrasta, dopóki cała rurka nie wypełni się światłem. Opór elektryczny jest znacznie mniejszy, a iskra, która, znajdując się w powietrzu, przeskoczyłaby jedynie 5 cm,



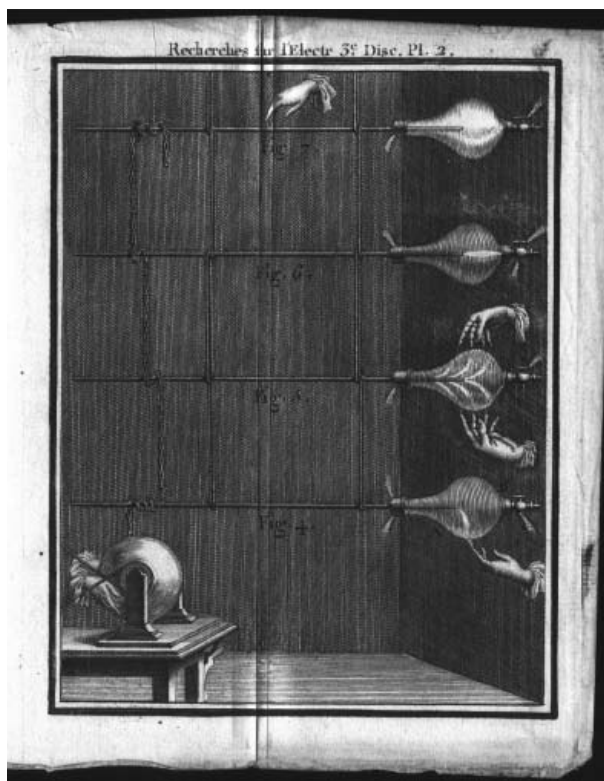
Ryc. 12. Rura do wyładowań elektrycznych zjawisko, za Schallem [24]
 1, 2, 4, 7 – do pompy powietrznej
 3, 6 – ciemna przestrzeń Faradaya
 5 – ciemna przestrzeń Crookes'a

wyładowuje się przez rurkę o długości 100 cm, gdy ciśnienie powietrza jest zmniejszone. To zjawisko zostało wykorzystane przez Geisslera. Gdy ciśnienie jest nadal zmniejszane, ciemna smuga, znana jako ciemna przestrzeń Faradaya, otacza katodę (Rycina 12c).

Przy jeszcze niższym ciśnieniu świecenie rury widoczne jest w postaci licznych prążków, podczas gdy druga ciemna przestrzeń (zwana przestrzenią Crookes'a) pojawia się wokół katody (Rycina 12d). Gdy ciśnienie spada do 0,001 mm, lub w pobliżu tej wartości, ciemna przestrzeń wokół katody wypełnia całą rurkę, lecz wówczas szklane ściany fluoryzują.

Hittorf w roku 1869 odkrył, że ciemna przestrzeń we wnętrzu rurki nie jest pusta, lecz że znajduje się tam ślad promieni, które zdają się pochodzić z katody i z tego powodu zostały nazwane promieniami katodowymi.

Znacznie wcześniejszą ilustrację śladów wyładowań na opróżnionych rurach widać na Rycinie 13, pochodzącej z osiemnastowiecznej książki Abbé Nolleta [26].



Ryc. 13. Wzory Abbé Nolleta wyładowań widoczne na uszkodzonej rurce [26]

Lord Kelvin (William Thomson) 1824-1907

William Thomson (któremu nadano tytuł Lorda Kelvin w 1892 roku) był fizykiem matematycznym i inżynierem. W 1846 roku (w wieku 22 lat) został mianowany profesorem filozofii przyrody na Uniwersytecie w Glasgow. W roku 1845 przedstawił pierwsze matematyczne rozwinięcie pomysłu Faradaya, że indukcja elektryczna zachodzi w dielektryku znajdującym się w stałym polu elektrycznym w wyniku procesów polaryzacji dielektrycznej. Zaprojektował również elektrometr kwadrantowy, aby

zapewnić bardziej dokładne pomiary prądu elektrycznego, a w roku 1851 przedstawił ogólną teorię właściwości termoelektrycznych.

James Clerk Maxwell 1831-1879

Szkocki matematyk Maxwell był profesorem najpierw w Aberdeen (1856-60), następnie w King's College w Londynie w 1860, a później w 1871 został mianowany profesorem fizyki w Cambridge. Zinterpretował wcześniejsze dokonania Faradaya, Ampère'a i innych w pojęciu wyższej matematyki, tworząc zestaw równań wyrażających podstawowe prawa elektryczności i magnetyzmu. Są one powszechnie znane jako równania Maxwella; po raz pierwszy zostały przedstawione Royal Society w 1864 roku. Opisywały działanie zarówno elektrycznych, jak i magnetycznych pól, jak również ich oddziaływanie z materią.

Elektromagnetyczna teoria światła Maxwella głosiła, że fale świetlne nie są jedynie mechanicznymi ruchami eteru, lecz drganiami, które są częściowo elektryczne, a częściowo magnetyczne. Drgającym elektrycznym przesunięciom towarzyszą drgające magnetyczne pola pod kątem prostym. W 1865 roku napisał, że „ich prędkości jest tak zbliżona do prędkości światła, że wygląda na to, iż mamy poważny powód, by uznać, że samo światło jest elektromagnetycznym zakłóceniem w postaci fal rozprzestrzeniających się przez pole elektromagnetyczne według praw” [27].

Maxwell wierzył wtedy, że rozchodzenie się światła wymaga nośnika dla fal zwanego „eterem”. Z czasem, wyobrażenie, że istnieje taki nośnik w całej przestrzeni, niewykrywalny mechanicznymi sposobami, zostało porzucone. Praca Alberta Michelsona (1853-1951) dowiodła nie istnienia eteru. Została uwieńczona pierwszą Nagrodą Nobla przyznaną Amerykaninowi w dziedzinie fizyki, w 1907 roku.

Hermann von Helmholtz 1821-1894 i Heinrich Hertz 1857-1894

W roku 1870 Hermann von Helmholtz przedstawił prawa odbicia i załamania z równań Maxwella i w 1881 roku przyjął koncepcję, że naładowane cząstki w obrębie atomów będą zgodne z poglądami Maxwella i Faradaya. Uwzględnił promienie X i fale radiowe w swojej teoretycznej dyspersyjnej teorii światła, określając ich własności, między innymi moc przenikania przez materiały nieprzejryste. Dlatego też można go uważać za „teoretycznego odkrywcę” promieni X, w odróżnieniu od Roentgena, który był odkrywcą eksperymentalnym [28]. Pierwsze znaczące osiągnięcie naukowe von Helmholtza miało miejsce w 1847 roku w jego traktacie fizycznym o zachowaniu energii.

Heinrich Rudolf Hertz, jeden z uczniów von Helmholtza, jako pierwszy eksperymentalnie zademonstrował promieniowanie elektromagnetyczne, pokazując, że sygnały elektryczne mogą przemieszczać się w powietrzu (jak przewidywali Maxwell i Faraday). To stanowiło

podstawę do wynalezienia radioodbiornika bezprzewodowego. Hertz pracował także nad wyładowaniami elektrycznymi w rurach próżniowych i zaobserwował, że promienie katodowe mogą przenikać przez cienki arkusz aluminium umieszczony wewnątrz rur. Na dodatek odkrył fotoelektryczny efekt, gdy zaobserwował, że naładowany obiekt traci swój ładunek szybciej, gdy jest oświetlony światłem ultrafioletowym.

Dr Richard E. Mould
41 Ewhurst Avenue
South Croydon
Surrey CR2 0DH
United Kingdom

Piśmiennictwo

1. Mould RE, Aronowitz JN. Rozwój wiedzy o elektryczności i elektroterapii ze szczególnym uwzględnieniem promieni X i leczenia raka. Część I. Od starożytnych Greków do Luigi Galvaniego. *Nowotwory J Oncol* 2006; 56: 711-20.
2. Volta A. An account of some discoveries made by Mr Galvani, of Bologna; with experiments and observations on them. In two letters from Mr Alexander Volta FRS. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to Mr Tiberius Cavallo FRS. *Phil Trans Roy Soc London* 1793; 83: 10-26, 27-44.
3. Volta A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. *Phil Trans Roy Soc London* 1800; 90: 403-31.
4. Dahl PF. Electromagnetic phenomena unraveled. In: Dahl PF. *Flash of the cathode rays. A history of JJ Thomson's electron*. Bristol: Institute of Physics; 1997, 20-36.
5. Nicholson W. Account of the new electrical or galvanic apparatus of Sig. Alex. Volta, and experiments performed with the same. *J Nat Phil Chem & the Arts* 1800; 4: 179.
6. Nicholson W, Carlisle A, Cruickshank W. Experiments on galvanic electricity. *London Dublin Edinburgh Phil Mag* 1800; 7: 337-50.
7. Wollaston WH. Experiments on the chemical production and agency of electricity. *Phil Trans Roy Soc London* 1801; 91: 427-34.
8. Davy H. The Bakerian Lecture, on some chemical agencies of electricity. *Phil Trans Roy Soc London* 1807; 97: 1-56, read 20 November 1806.
9. Thompson S. *Elementary lessons in electricity and magnetism*. 3rd edn. London: Macmillan; 1918, (1st edn 1881).
10. Althaus J. *A treatise on medical electricity*. London: Longman; 1873, 394.
11. Watson & Sons (Electro-Medical) Ltd. *Price list [No. 228] of apparatus for radiography, high frequency, electrolysis, light, hydro-therapy, radioscopy, static and sinusoidal currents, Galvanism, cautery, thermo-therapy, radiotherapy, Faradism, light therapy, vibration*. London: Watson & Sons; 1918, 262.
12. Ward HS. Marvels of the new light. Notes on the Röntgen rays. *Windsor Magazine* April 1896; 3: 372.
13. Dittmar A. *Prof. Röntgen's "X" rays and their applications in the new photography*. Glasgow: F. Bauermeister; 1896.
14. Duchenne GB. *Mécanisme de la physionomie humaine (ou Analyse electro-physiologique de l'expression des passions)*. Paris: Renouard; 1862, English trans. Cuthbertson RA (ed.) *The mechanism of human facial expression*. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
15. Campbell EDR. The achievement of Duchenne. *Proc Roy Soc Med* 1973; 66: 18-22.
16. Matteucci C. Sur un phenomene physiologique produit par les muscles en contraction. *Ann Chim Phys* 1842; 6: 339-41.
17. Macintyre J. X-ray records for the cinematograph. *Arch Clin Skiagraphy* 1896-97; 1: 37.
18. Bird G. Lectures on electricity and galvanism in their physiological and therapeutical relations. Lectures I-III. *London Med Gazette* 1847; 39: 705-11, 799-806, 886-94.
19. Munro J. *The story of electricity*. London: George Newnes, 1897; and Phillips CES. *Bibliography of X-ray literature and research 1896-1897*. London: The Electrician Printing & Publishing Co., 1897.

20. Kassabian MK. *Electro-therapeutics and Röntgen rays*. Philadelphia: Lippincott; 1907.
21. Pusey WA, Caldwell EW. *The practical application of Röntgen rays in therapeutics and diagnosis*. 2nd edn. Philadelphia: WB Saunders; 1904.
22. Rønne P, Nielsen ABW. *Development of the ion X-ray tube*. Copenhagen: CA Reitzel; 1986.
23. Lerch IA. The early history of radiological physics: a fourth state of matter. *Med Phys* 1979; 6: 255-66.
24. Mayneord WV. *The physics of X-ray therapy*. London: J & A Churchill; 1929.
25. Schall WE. *X-rays: their origin, dosage and practical application*. 4th edn. Bristol: John Wright & Sons; 1932.
26. Nollet, Abbé. *Recherches sur les causes particulieres des phénomènes électriques*. Paris: Freres Guerin, 1749.
27. Maxwell JC. *A treatise on electricity and magnetism*. Oxford: Clarendon Press; 1873.
28. Eisenberg RL. Predecessors of Roentgen. In: Eisenberg RL. *Radiology an illustrated history*. St. Louis: Mosby Year Book Inc; 1992, 3-21.

Otrzymano: 18 kwietnia 2006 r.

Przyjęto do druku: 13 stycznia 2006 r.

Redakcja serdecznie dziękuje Profesorowi Jerzemu Tołwińskiemu i Doktorowi Wojciechowi Bulskiemu za konsultację tłumaczenia terminów z zakresu fizyki