

## Historia rozwoju badań elektrofizjologicznych słuchu

### The history of the development of electrophysiological methods for hearing investigations

Barbara Maciejewska, Bożena Wiskirska-Woźnica, Piotr Świdziński

Akademia Medyczna im. K. Marcinkowskiego, Poznań

#### Streszczenie

Badania elektrofizjologiczne mózgu mają swoje korzenie w obserwacjach bioelektryczności (L. Galvani, A. Volta – przewodzenie tkanek nerwowych) oraz we frenologii według koncepcji F. J. Galla, opartej na modułowym modelu mózgu, obowiązującej w naukach neurofizjologicznych. Pionierską rolę w odkryciu czynności elektrycznej mózgu odegrał R. Caton (1875 r.). Pierwszy zarejestrował zjawiska elektrofizjologiczne w mózgu, stanowiące podstawę elektroencefalografii i umożliwiające rejestrację potencjałów wywołanych różnymi bodźcami zewnętrznymi. Rozwój i popularyzacja metod oceny elektrofizjologicznej czynności mózgu dokonały się przy znaczącym udziale Polaków: A. Becka-studium problemu lokalizacji funkcji w mózgu i samego elektroencefalogramu oraz N. N. Cybulskiego – badanie i interpretacja EEG. Pierwszy elektroencefalogram u człowieka został zarejestrowany przez H. Bergera. Rejestrację potencjałów wywołanych z powierzchni głowy wprowadził G. Dawson. Potencjały wywołane zyskują od lat 70-tych i 80-tych XX w. coraz większe zastosowanie. Obecnie badania koncentrują się nad potencjałami kognitywnymi należącymi do tzw. *Event Related Potentials* (ERP), takimi jak fala P300 określana jako fala uwagi i fala niezgodności (MMN – *Mismatch Negativity*), zarejestrowane i opisane odpowiednio przez S. Suttona oraz R. Naatanena.

**Słowa kluczowe:** historia, słuch, badania elektrofizjologiczne.

#### Summary

Electrophysiological methods of the brain investigation were based on the bioelectricity – main feature of the nervous tissue and frenology – Gall's bizarre concepts about modular organization of the brain. R. Caton discovered electrical brain signals on the surface of exposed brain of animals. He is recognized as the discoverer of the electrical brain activity as a basis of electroencephalography and evoked potentials. Polish research workers from University of Jagiellonski in Krakow A. Beck and N.N. Cybulski undoubtedly played very important role in further development of electrophysiological methods. J. Berger was the first to record electroencephalogram from humans. The graphic representation of evoked potentials from the skull is possible thanks to G. Dawson. Since 70s and 80s evoked potentials (EP) have become more and more useful in medicine. Nowadays the research workers are focusing on components of event related potentials (ERP). Thus P300 wave and mismatch negativity (MMN), discovered respectively by S. Sutton and R. Naatanen, are in the main interest.

**Key words:** history, hearing, electrophysiological examination.

Słuch jako jeden z narządów zmysłów nie tylko przyczynia się do poznawania otaczającego świata i pełni funkcje czysto biologiczne np.: ostrzegawczą, ale również warunkuje prawidłowy rozwój procesu komunikatywnego (wytworzenie mowy i języka) oraz odgrywa ważną rolę w kształtowaniu się kultury (muzyka, taniec).

Metody badania słuchu zmieniały się na przestrzeni wieków, a postęp w badaniach elektrofizjologicznych słuchu wiąże się z rozwojem metod badania czynności elektrycznej mózgu. Badania te były konsekwencją powiązania struktur mózgowych z czynnościami psychicznymi i zlokalizowaniem ośrodków czuciowo-ruchowych w mózgu (w tym słuchowych) oraz sukcesywnego postępu w metodach badawczych tkanki nerwowej, a w szczególności jej aktywności elektrycznej. Od najdawniejszych czasów o nadrzędną rolę w żywym organizmie rywalizowały ze sobą dwa narządy: serce i mózg. Serce traktowano w starożytnym Egipcie [Michalik 1994]

i w starożytnych Chinach [Garnuszewski 2005] jako siedlisko uczuć i myśli, dopiero jednak w XVI w., w okresie wielkich przemian w naukach przyrodniczych, rozkwitu anatomii oraz przyzwolenia na krytykę starożytnych, Andreas Vesalius (1514-1564) ostatecznie ustalił znaczenie mózgu i poświęcił mu specjalne rozdziały w swojej książce „De Corporis Humani Fabrica” [Kreiner 1970; Michalik 1994].

Historia rozwoju elektrofizjologicznych metod badawczych słuchu wiąże się ściśle z historią lokalizacji funkcji słuchowych w OUN i poszukiwaniem ich anatomicznych odpowiedników. Pierwszy krok w tym kierunku uczynił wiedeński lekarz Franc Joseph Gall (1758-1828). Jako pierwszy w historii medycyny zaproponował anatomiczną reprezentację dla funkcji intelektualnych i poznawczych, w tym słuchu i mowy. Jego poglądy na temat układu nerwowego były niezwykle trafne, a wiele z jego obserwacji na temat rdzenia kręgowego, włókien nerwowych czy istoty

białej i szarej stanowi do dziś podstawę neurofizjologii [Brazier 1964; Michalik 1994]. Niestety jego zasługi zostały zapomniane, a on sam znany jest głównie jako twórca osobliwej teorii – frenologii [Brazier 1963; Walsh 1970; Wyhe 2002]. Podstawą jej był pogląd, że poszczególne części mózgu odpowiadają za określone zdolności człowieka, których według Galla miało być 27 np.: odwagi, próżności, mowy i elokwencji, rozmnażania, muzykalności, skłonności do kradzieży, pamięci, orientacji, dowcipu itp. [Brazier 1963; Michalik 1994]. Te części mózgu pod wpływem ćwiczeń i wrodzonych predyspozycji mogły się powiększać, uciskać od wewnątrz czaszkę i odkształcać ją. Tym samym kształt czaszki miał odzwierciedlać zdolności umysłowe, psychiczne, charakter i umiejętności danego człowieka. Teoria ta, którą opracował i rozwijał wraz ze swoim uczniem J. K. Spurzheimem była oczywiście błędna i powstała z wyobraźni naukowca, a nie w oparciu o jakiegokolwiek dane naukowe. Dodatkowo została zniekształcona i sprowadzona do pseudonauki przez współczesnych mu rządnych zysków oszustów, którzy posługiwali się nią do określania potencjalnych zdolności i predyspozycji swoich klientów. Jednak teoria ta pozostaje pierwszą koncepcją w historii medycyny, która nie tylko wprowadziła zagadnienia lokalizacji różnorodnych czynności w mózgu, ale również przedstawiła modułowy model mózgu obowiązujący do dziś w naukach neurofizjologicznych.

Kolejnym krokiem prowadzącym do umiejscowienia funkcji w OUN były metody degeneracji eksperymentalnej [Kreiner 1970]. Poprzez planowe uszkodzenie wybranych okolic mózgu i obserwację zaistniałych skutków wysuwano wnioski odnośnie roli danego obszaru. Były to działania traumatyczne i okaleczające, chociaż znacząco rozszerzyły wiedzę o procesach fizjologicznych. W oparciu o przeprowadzone na gołębiach eksperymenty Fluorens [Brazier 1963] przypisał poszczególnym strukturalom mózgowia specyficzne, jakkolwiek zbyt jednolite funkcje: półkule miały mieć związek z percepcją i zdolnościami intelektualnymi, mózdzek miał odpowiadać za czynności ruchowe, a pień mózgu mieścić w sobie ośrodki odpowiedzialne za utrzymanie życia. Metody degeneracji eksperymentalnej zostały dość szybko zarzucone i to z kilku powodów, przede wszystkim z braku możliwości ich prowadzenia na człowieku, łatwością o artefakty i niedokładności oraz ograniczeniu informacji uzyskanych tą drogą do ośrodków motorycznych, bez możliwości zbadania funkcji sensorycznych. Tak więc do XIXw. możliwości stosowania metod badawczych i środków technicznych do uzyskania pełnego obrazu funkcjonowania człowieka i jego zmysłów były niewielkie.

W rezultacie, jakby w odpowiedzi na nowe potrzeby naukowców, pojawiły się metody elektrofizjologiczne. Podstawowym narzędziem badania był prąd elektryczny stosowany w podwójnej roli: jako bodziec drażniący, stymulujący tkankę nerwową, lub jako sygnał rejestrowany z powierzchni mózgu w postaci różnicy potencjałów – prąd czynnościowy towarzyszący aktywności neuronów. Drażnienie tkanki nerwowej wykorzystywane już było w neurofizjologii wcześniej (Haller, Cabanis, Fontan, Caldani, Rolando, Olds [Brazier 1963; Michalik 1994]).

Niezwykle istotnego odkrycia dokonali Eduard Hitzing (lekarz psychiatra) i Gustav Fritsch (zoolog), a następnie Ferrierr. Drażniąc słabym prądem korę mózgową psa naukowcy zidentyfikowali na jej powierzchni obszary wy-

walające ruchy mięśni po przeciwnej stronie ciała zwierzęcia. Tym samym nie tylko dowiedli możliwości pobudzenia mózgu na drodze elektrycznej, ale wykazali, że możliwa jest lokalizacja ośrodków czynności w mózgu. Poglądy te nie zyskały na początku uznania. Były kwestionowane również przez ówczesne naukowe autorytety. George Henry Lewis nie zgadzał się z koncepcją lokalizacji funkcji argumentując, iż np. ośrodek śmiechu nie może być zlokalizowany na stopie tylko dlatego, że łaskotanie tej okolicy wywołuje śmiech [Brazier 1963]. Poszukiwaniem ośrodków czuciowych/sensorycznych zajął się z kolei H. Munk [Brazier 1963] obserwując zwierzęta z rzekomą ślepotą i głuchotą po resekcji fragmentów kory.

Początki badań nad bioelektrycznością sięgają okresu jedności nauk przyrodniczych XVIIIw. i wiążą się z nazwiskami włoskich naukowców: Galvani i Volta. W 1786r. Luigi Galvani przeprowadził swoje słynne doświadczenie z żabami. Przypadkowo podczas pracy w laboratorium przy preparowaniu martwego płaza zaobserwował skurcz mięśni odnóży żaby. Galvani był zdania, że zjawisko to efekt tzw. zwierzęcej elektryczności – „elektryczności zawartej w zwierzęciu”. Prawdziwą interpretację podał jednak Alessandro Volta w 1796 r., stwierdzając, że prąd elektryczny pobudzający mięśnie żaby powstał na skutek różnicy potencjałów między dwoma metalami zanurzonymi w elektrolicie, który stanowiły wilgotne tkanki żaby. Mimo błędnej interpretacji doświadczenia Galvani przewidział fakt, który potwierdził w 1848 r. Emil Du Bois Reymond – że przemianom życiowym nieodłącznie towarzyszą zjawiska elektryczne. Du Bois Reymond wykazał, że tkanka nerwowa generuje elektryczność, a aktywności w nerwie obwodowym zawsze towarzyszy zmiana potencjału na jego powierzchni [Brazier 1963; Ormerod 2006]. Tym samym dowiódł, że aktywność elektryczna tkanki nerwowej może być traktowana jako wykładnik jej funkcji.

Pierwszy opis czynności elektrycznej mózgu pojawił się w 1875 r. za sprawą Richarda Catona – młodego angielskiego fizjologa i wykładowcy w Liverpool Royal Infirmary [Brazier 1963; 1964; Naatanen, Escera 2000; Hardt 2006]. Za pomocą galwanometru lusterkowego mierzył aktywność elektryczną na odsłoniętej powierzchni mózgow zwierząt doświadczalnych (króliki, koty, małpy) jako odpowiedź na stymulację bodźcami wzrokowymi. Była to pierwsza rejestracja wahania potencjału z powierzchni kory mózgowej w momencie zadziałania bodźca. Caton określił to, że „gdy jakkolwiek część istoty szarej jest w stanie pobudzenia czynnościowego, jej potencjał zazwyczaj staje się ujemny” [Brazier 1963; Szelenberg 2000], co można uznać za pierwszy opis w historii medycyny potencjałów wywołanych. Dodatkowo Caton zarejestrował również na powierzchni kory mózgu prąd słaby, ale utrzymujący się stale mimo braku stymulacji zewnętrznej. Ta spontaniczna aktywność bioelektryczna to fale, których zapis w postaci elektroencefalogramu jest obecnie szeroko stosowany w diagnostyce neurologicznej. Caton jest więc ojcem zarówno mózgowych potencjałów wywołanych jak i elektroencefalografii. Swoje wyniki R. Caton przedstawił w sprawozdaniu wygłoszonym na spotkaniu British Medical Association w 1875 r. a następnie opublikował krótki artykuł „The electrical currents of the brain” w British Medical Journal 1875 [Ormerod 2006; Durka 2005]. Praca nie spotkała się jednak z zainteresowaniem. W wyniku dalszych badań nad prądami czynnościowymi wykazał korelację mię-

dzy prostymi czynnościami ruchowymi (ruchy kończyn, głowy, przeżuwanie) a zmianą potencjału w odpowiednich wskazanych przez Ferrire a obszarach kory mózgowej. Eksperymentował z bodźcami o różnej modalności. Stosował nie tylko stymulację wzrokową, ale i słuchową, dotykową, dążąc do zlokalizowania funkcji sensorycznych w mózgu. Rezultaty swoich doświadczeń i eksperymentów podsumował w 1877 r. słowami: „Doświadczenie wskazuje, że elektryczne prądy z istoty szarej wiążą się z jej funkcją podobnie jak ma to miejsce w przypadku nerwów obwodowych, a prace nad tymi prądami mogą rzucić nowy światło na funkcje półkul mózgowych” [Szabela 1999] Niestety publikacja w suplementcie do *British Medical Journal* pt.: „Interim report on investigation of the electrical currents of the brain” i tym razem pozostała niezauważona. 10 lat później w 1887r. ostateczne wyniki prac zaprezentował na IX Międzynarodowym Kongresie Medycznym w Waszyngtonie (“Researches on electrical phenomena of cerebral grey matter”). Przedstawił metodykę (technikę operacji, instrumentarium, elektrody) i rezultaty swoich badań mózgow 45 zwierząt (koty, króliki, małpy) [Brazier 1963]. Ostatecznie zarejestrował pozytywne wyniki pod postacią zmiany czynności bioelektrycznej mózgu w odpowiedzi na bodźce świetlne i ruchowe, nie uzyskał jednak jednoznacznych odpowiedzi po stymulacji słuchowej i zapachowej. W 1891r. Caton opublikował w *Centralblatt der Physiologie* artykuł „Die Storme des Centralnervensystem” w którym ostatni raz zajął się zagadnieniami bioelektryczności mózgu, po tym artykule zmienił swoje zainteresowania i poświęcił się kardiologii [Ormerod 2006].

Dalsze postępy na polu badań elektrofizjologicznych dokonały się dzięki polskim fizjologom z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie – Adolfowi Beckowi (1863-1942) – również odkrywcy potencjałów wywołanych i EEG oraz Napoleonowi Nikodemowi Cybulskiemu (1854-1919) – pionierowi polskiej elektroencefalografii, ale też elektrokardiografii i endokrynologii [Śródka 1990; Durka 2005]. W 1886r. A. Beck rozpoczął pracę na Uniwersytecie Jagiellońskim w katedrze fizjologii pod kierunkiem N. N. Cybulskiego. Nie wiedząc o wcześniejszych pracach Catona pod wpływem konkursu ogłoszonego przez prof. Cybulskiego w 1888r. [Śródka 1990] rozpoczął badania, których celem miało być wykorzystanie elektrofizjologicznych technik do lokalizacji funkcji w mózgu. Efektem jego pracy była praca doktorska „Oznaczenie lokalizacji w mózgu i rdzeniu za pomocą zjawisk elektrycznych” przedstawiona 20.10.1890 r., a opublikowana w *Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Polsk. Akad. Um.*, seria II, 1, s. 186-232, 1891 [Durka 2005]. Podobnie jak Caton zarejestrował zmiany potencjału elektrycznego na powierzchni kory mózgowej psa w odpowiedzi na bodźce zarówno słuchowe jak i wzrokowe [Brazier 1963]. Podobnie do Catona odkrył elektroencefalogram, dla którego zaproponował nazwę „aktywny prąd niezależny” [Śródka 1990] w odróżnieniu od prądów wywołanych stymulacją. Jednak jego praca nie była jedynie powtórzeniem odkryć Catona, stanowiła znacznie głębsze studium problemu lokalizacji funkcji sensorycznych w mózgu jak i samego elektroencefalogramu (odkrycie zjawiska desynchronizacji). Swoje wyniki opublikował w piśmie fizjologicznym *Centralblatt der Physiologie* (Die Storme der Nervencentren. *Centerblatt fur Physiologie*, 4:572-573, 1890) [Durka 2005]. Artykuł ten wywołał spore zamieszanie w środowisku ówczesnych neuro- i elektro-

fizjologów i doprowadził do sporu o pierwszeństwo prezentowanych odkryć. Okazało się bowiem, że pod wpływem prac Du Bois Reymonda podobne do Catona doświadczenia i obserwacje czynności elektrycznej mózgu prowadzili m.in. Fleischl von Marxow (1846-1892). Rezultaty swej pracy spisał w liście złożonym w sejfie Cesarskiej Akademii Nauk w Wiedniu, ale opublikował je dopiero po doniesieniach Becka (Fleischl von Marxow E. *Mittheilung betreffend die Physiologie der Hirnrinde. Centerblatt der Physiologie* 1890; 4:538) oraz V. Y. Danilewsky, który podjął zagadnienia elektrofizjologii mózgu w swojej pracy doktorskiej zaraz po Catonie, ale tezy opublikował w 1877r. w języku rosyjskim i to dopiero kilkanaście lat później. Gorącą dyskusję zakończył Caton cytując swoje w opublikowane wcześniej prace [Ormerod 2006].

Cybulski zajął się badaniem i interpretacją odkrytego przez Becka „niezależnego prądu aktywnego” [Śródka 1990, Hardt 2006; Durka 2005]. W dziedzinie tej poczynił ogromne postępy (jako jeden z pierwszych zarejestrował zapis EEG), chociaż brak środków finansowych na odpowiedni sprzęt nie pozwolił mu na pełną publikację wyników i odebrał pierwszeństwo w opublikowaniu elektroencefalogramu (uczynił to w 1912r. Włodzimierz Prawdzicz-Niemieński przedstawiając fotograficzny zapis fal mózgowych psa [Durka 2005]. Prace nad EEG poszerzył i upowszechnił niemiecki psychiatra Hans Berger.

W 1930 r. Wever i Bray przeprowadzili doświadczenie, które doprowadziło do powstania elektrokocheleografii. Zarejestrowali oni bowiem mikrofoniczne potencjały słuchowe ze ślimaka. Umiejscawiając elektrodę na nerwie słuchowym kota uzyskali, po wzmocnieniu w pokoju obok, dźwięki wpadające do kocięgo ucha odtworzone tak wiernie, że pozwalały zidentyfikować głos mówiącego [Brazier 1964].

Lokalizacją tonową w obrębie kory słuchowej interesował się Włodzimierz Efinowicz Larionow [Brazier 1963] i w rezultacie napisał pracę doktorską na temat korowych ośrodków słuchu. Pierwsze doświadczenia w tej dziedzinie prowadził używając metod degeneracyjnych. Porzucił je jednak zainspirowany możliwościami wykorzystania metod elektrofizjologicznych do lokalizacji funkcji w mózgu. Udoskonaliwszy metody pomiarowe Catona i stosując stroiki jako źródło pobudzenia, nie tylko prawidłowo umiejscowił ośrodki słuchowe w płacie ciemieniowym kory mózgowej psa, ale też zaobserwował, że tony o różnej częstotliwości wywołują aktywność odmiennych miejsc kory słuchowej (miejsca te dokładnie zidentyfikował dla dźwięków A, A1, C3). Natomiast Woolsey i Walzl oraz niezależnie od nich Tunturi wyznaczyli pola odpowiedzi w korze mózgowej kota i psa po drażnieniu elektrycznym ślimaka [Brazier 1964].

Kolejne obserwacje i doświadczenia wykazały, że bodźce słuchowe wpływają zmieniają zapis EEG (H. Davis) oraz że rozróżnienie pomiędzy procesami słyszenia i słuchania ma elektrofizjologiczne podstawy (Galambos i Peon) [Brazier 1964].

W roku 1947 za sprawą Georga Dawsona [Szelenberg 2000], który wpadł na pomysł nakładania na siebie licznych kolejnych odpowiedzi na powtarzający się bodziec wywołujący potencjał, możliwa stała się rejestracja potencjałów wywołanych z powierzchni głowy. W 1962 r. skonstruowano cyfrowy komputer (CAT Computer for Averaging Transients) specjalnie do celów uśredniania potencjałów wywołanych.

Pierwszym w Polsce użytkownikiem tego urządzenia był prof. Tadeusz Bacia z Akademii Medycznej w Warszawie. W 1964 r. w Katedrze Maszyn Matematycznych Politechniki Warszawskiej skonstruowano podobny aparat ANOPS – Analizator Okresowych Przebiegów Szumowych, który następnie produkowano i eksportowano szeroko w latach 1975-84 [Szelenberg 2000]. Niewątpliwie duże znaczenie dla dynamicznego rozwoju dziedziny słuchowych potencjałów wywołanych w Polsce miało opracowanie w roku 1990 w Klinice Otolaryngologii Akademii Medycznej w Warszawie oraz wdrożenie do produkcji nowoczesnego systemu klinicznego o nazwie EPTTEST [Kochanek (i in.) 2006].

W efekcie rozpowszechnienia się badania EEG oraz rozwoju i udoskonalenia przetwarzania danych od lat 70-tych potencjały wywołane zyskują coraz większe zastosowanie nie tylko do badań naukowych, ale w medycynie klinicznej. Dostarczają one informacji nie tylko o procesach fizjologicznych, ale neuropatologicznych szczególnie w obszarach przetwarzających informacje. Powszechnie stosowane są potencjały egzogenne [Szabela 1999]: słuchowe potencjały wywołane z pnia mózgu – *Auditory Brainstem Responses* – ABR lub *Brainstem Auditory Evoked Potentials* BAEP (pierwsze zapisy u ludzi zarejestrowali Jewwet i Williston ponad 30 lat temu – 1971), a także wzrokowe potencjały wywołane – *Visual Evoked Potentials* VEP, somatosensoryczne potencjały wywołane – *Somatosensory Evoked Potentials* SSEP. Istnieją też węchowe, smakowe, nocyceptywne potencjały, ale nie mają one jeszcze ustalonego znaczenia klinicznego.

Coraz większe zainteresowanie budzą potencjały endogenne związane z wydarzeniami poznawczymi (Cognitive Event Related Potentials), do których rejestracji wykorzystywane są powszechnie bodźce słuchowe. CERP zależne są od czynników psychoneurologicznych oraz sprawności procesów przetwarzania informacji (też słuchowych), wyrażają emocjonalną bądź intelektualną reakcję na bodziec (również dźwiękowy). W tej grupie potencjałów zainteresowanie koncentrują się obecnie na fali P300 (fala uwagi opisaną w 1965 r. przez S. Suttona, który zarejestrował falę o latencji 350 ms, o szczycie skierowanym ku górze (pozytywną)) oraz na fali niezgodności MMN (mismatch negativity zarejestrowanej przez R. Naatanena 1978r. odzwierciedlającej wykształcony w toku filogenezy mechanizm alarmowy) [Hurby, Marsalek 2003; Polich, Kok 1995; Naatanen, Escera 2000; Salil, Pierre 2005; Sutton (i in.) 1965].

Elektrofizjologiczne metody badania pojawiły się w odpowiedzi na nowe potrzeby badaczy i w momencie, gdy dotychczas stosowane metody wyczerpały swoje możliwości. Rozwój metod badania aktywności neuroelektrycznej wynikał również z równoległego postępu w innych dziedzinach nauki. I nadal wraz z rozwojem neurologii, neuropsychiatrii, psychologii badania elektrofizjologiczne uzyskują nowe zastosowania, niosąc informacje nie tylko o „prostych” fizjologicznych reakcjach na bodźce, ale o emocjonalnych i intelektualnych reakcjach człowieka [Naatanen, Escera 2000; Salil, Pierre 2005].

Badania elektrofizjologiczne odnoszą się do podstawowej własności tkanki nerwowej jaką jest jej aktywność elektryczna. Fakt ten doskonale rozumieli R. Caton i A. Beck. Chcieli oni, by „mózg przemawiał sam z siebie” (“wanted the brain to speak for itself”) [Sutton (i in.) 1965], jak trafnie wyraził się William C. Gibson uczeń Ch. Sherringtona, który objął po Catonie Katedrę Fizjologii. Badania elektrofizjologiczne nie „poszturczą” mózgu, jak to określały wcześniejsze metody badawcze, pozwalają natomiast przemówić samemu mózgowi i zlokalizowanym w nim ośrodkom.

## Bibliografia

- Śródka A. [1990]. Biogramy polskich uczonych. Nauki medyczne zeszyt 1: A-Ł. Część VI. Wrocław: Ossolineum.
- Brazier M. A. B. [1964]. Czynność elektryczna układu nerwowego. Warszawa: PZWL.
- Brazier M. A. B. [1963]. A history of the electrical activity of the brain as a method for localizing sensory functions. „Medical History” 7, 199-211.
- Garnuszewski Z. [2005]. Renesans akupunktury. Warszawa: Medyk.
- Hurby T., Marsalek P. [2003]. Event-related potentials – the P300 wave. „Acta Neurobiologiae Experimentalis” 63, 55-63.
- Kochanek K. [2006]. Informacja bezpośrednia o urządzeniu EPTTEST i przyznaniu dla autorów opracowania Nagrody Zespołowej Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w roku 1992.
- Kreiner J. [1970]. Biologia mózgu. Warszawa: PWN.
- Michalik M. M. [1994]. Kronika medycyny. Kronika. Warszawa.
- Naatanen R., Escera C. [2000]. Mismatch Negativity: clinical and other applications. „Audiology and Neurootology” 5, 105-110.
- Ormerod W. [2006]. Richard Caton (1842-1926): pioneer electrophysiologist and cardiologist. „Journal of Medical Biography” 14, 30-35.
- Polich J., Kok A. [1995]. Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. „Biological Psychology” 103-146.
- Salil H. P., Pierre A. N. [2005]. Characterization of N200 and P300: selected studies of the event-related potential. „International Journal of Medical Sciences” 2, 147-154.
- Sutton S., Braren M., Zublin J. [1965]. Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. „Science” 150, 1187-1188.
- Szabela D. A. [1999]. „Potencjały wywołane w praktyce lekarskiej” Łódź: Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
- Szelenberg W. [2000]. Potencjały wywołane. Warszawa: Elmiko.
- Walsh A. A. [1970]. Is phrenology foolish? A rejoinder. „The British Journal for the History of Science” 6, 358-361.
- Wyhe J. [2002]. The authority of human nature: the Schädellehre of Franz Joseph Gall. „The British Journal for the History of Science” 17-42.
- Hardt J. [2006]. Brain waves. [www.biocybernaut.com/about/brain-waves](http://www.biocybernaut.com/about/brain-waves).
- Durka P. J. [2005]. Elektryczny ślad myśli. [www.fuw.edu.pl](http://www.fuw.edu.pl).
- Naatanen R. [2004]. Mismatch Negativity. [www.psych.helsinki.fi/cbru/mmn.html](http://www.psych.helsinki.fi/cbru/mmn.html).