

# Lata 1952–1962: rewolucyjna dekada w dziejach elektrostymulacji serca

Jakub Machejek, Jacek Lelakowski, Agnieszka Czunko i Jacek Majewski

Klinika Elektrokardiologii Instytutu Kardiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Stymulacja elektryczna serca stanowi obecnie uznany i rozpowszechniony sposób przeciwdziałania bradykardii. Jej powszechna akceptacja wiąże się m.in. z wysokim poziomem technicznym niezbędnego oprzyrządowania (*hardware*) oraz przyjaznego oprogramowania (*software*), umożliwiającego daleko posuniętą ingerencję w proces stymulacji. Postęp techniczny, którego jesteśmy świadkami, jest nieuchronną konsekwencją walki o rynek potężnych, wielobranżowych koncernów posiadających środki na prace badawcze, które wyeliminowały lub „wchłonęły” wiele dawnych fabryk rozruszników.

Patrząc wstecz, można wszakże zauważyć, że kardiostymulacja nie zawsze prezentowała się tak spektakularnie. Udane resuscytacje przeprowadzone z użyciem prądu elektrycznego przez Robinovitch u morfinistki (Paryż, 1908) oraz Lidwilla u noworodków (Sydney, 1929) stanowiły jedynie swojego rodzaju egzotykę, nie budząc zainteresowania wytwórców sprzętu medycznego. Nawet nowojorczyk Hyman, wślawniony udaną resuscytacją kilkunastu osób z asystolią, musiał szukać producenta za oceanem, w Niemczech. Jego mechanoelektryczny *pacemaker* spotykał się w jego rodzinnym mieście z obojętnością, a nawet sprzeciwem lokalnej opinii publicznej. Ulepszona przez firmę Seimens & Halske wersja stymulatora zaginęła pod gruzami zbombardowanej Norymbergii.

Świadomość społeczeństw głęboko poruszyła II wojna światowa. Serce jako narząd straciło status *sacrum* dzięki polowym operacjom Harkena, który z powodzeniem usuwał odłamki szrapneli pod

osłoną masywnych transfuzji krwi [1]. Z kolei Sweet w 1947 roku doniósł o dwóch przypadkach mechanicznej stymulacji odsłoniętego serca w trakcie śródoperacyjnej asystolii [2]. W większości krajów priorytetem stał się potężny, nieliczący się z wydatkami sektor militarny. Stan pogotowia podtrzymywała zimna wojna, prowadząc do intensyfikacji badań naukowych. W efekcie pojawiły się nowe technologie, stopy metali, tworzywa sztuczne. W 1947 roku Ruben (związany z firmą *Mallory*) opatentował ogniwo rtęciowo-cynkowe. W tym samym roku Shockley (*Bell Laboratories*), na podstawie osiągnięć Bardeena i Brattaina, skonstruował germanowy tranzystor złączowy.

Podczas gdy większość krajów europejskich odbudowywała zniszczenia wojenne, niektóre państwa (np. Stany Zjednoczone, Kanada, Szwecja) posiadały znaczny potencjał ekonomiczny. To właśnie na ich terenie nastąpiło wiele wydarzeń, które zapoczątkowały dynamiczny rozwój kardiostymulacji — aż do kształtu obserwowanego w dniu dzisiejszym [3].

Niezwykle istotne znaczenie miał rozwój chirurgii serca — początkowo zainteresowanie kardiostymulacją przewyższały trudności, na jakie napotymano w trakcie hipotermii. Przy pewnej temperaturze zawsze dochodziło do zahamowania czynności węzła zatokowego, z czym chirurdzy nie potrafili się uporać. W 1950 roku w Toronto prowadzono intensywne badania nad możliwością endokawitarnej stymulacji prawego przedsionka u schładzanych zwierząt. Zespół w składzie Bigelow, Callaghan i Hopps stworzył nowoczesny system do czasowej kardiostymulacji serca z bipolarną elektrodą endokawitarną i elektronicznym (tyratronowym) generatorem impulsów (*Grass Physiologic Stimulator*, Model S-4A). Niestety, nie wyszli oni poza postawione przed nimi zadanie i nie usiłowali stymulować komór. Wkrótce podjął się tego Zoll,

Adres do korespondencji: Dr Jakub Machejek  
 Klinika Elektrokardiologii CMUJ  
 KSS im. Jana Pawła II  
 ul. Białe Wzgórze 18, 30–208 Kraków  
 Nadesłano: 11.02.2000 r. Przyjęto do druku: 20.12.2000 r.

nadając elektrostymulacji serca wymiar kliniczny i rozpoczynając, jak się wyraził David Schechter, jej „Złotą Dekadę”.

Aby uzmysłwić sobie znaczenie tego okresu dla rozwoju kardiostymulacji, należy wymienić pokrótce jego główne wydarzenia [4–12]. Oto one:

- **1952 rok**, *Beth Israel Hospital*, Boston — Zoll, Zarsky i Linenthal wprowadzili do kliniki zewnętrzną (przezskórną) stymulację za pomocą impulsów o napięciu rzędu kilkudziesięciu woltów [13]. Pacjent z zespołem Morgagniego-Adamsa-Stokesa, leczony w ten sposób przez 52 h, zmarł 11 miesięcy później, potwierdzając tym samym wskazania do stymulacji przewlekłej. To epokowe wydarzenie poprzedziły dwa lata prób na zwierzętach (m.in. stosowano stymulację przezprzelykową) i jedna nieudana próba u człowieka. Produkcji seryjnej stymulatora zewnętrznego (od 1953 r.) podjęła się firma Electrodyne Co., Norwood, Massachusetts.
- **1953 rok** — Damman, Darsie i Smith zastosowali przezskórną stymulację u pacjenta z pooperacyjnym blokiem przedsionkowo-komorowym, używając generatora „fali prostokątnej” własnej konstrukcji. Nowym rozwiązaniem była możliwość wyzwalać impulsu zespołami QRS (jak w późniejszych stymulatorach VVT).
- **1954 rok** — Chandler, Rosenbaum i Hansen opracowali technikę doraźnej kardiostymulacji za pomocą igieł wkłuwanych podskórnym w taki sposób, aby dotykały osierdza.
- **1955 rok** — Zoll zastosował przezskórny stymulator-monitor, pozwalający na stymulację jedynie w epizodach asystolii, co zwiększało bezpieczeństwo chorego i oszczędzało mu niepotrzebny ból [14]. W tym samym roku pojawiają się kolejne doniesienia z różnych ośrodków potwierdzające skuteczność przezskórnej stymulacji.
- **1956 rok**, *St. George Hospital*, Londyn — Leatham, Cook i Davies zaproponowali nowy typ stymulatora przezskórnego, pracującego „na żądanie”, który automatycznie włączał się przy 6-sekundowej asystolii.
- **1956 rok** — Shafiroff i Linder stymulowali przezprzelykowo lewy przedsionek (u ochotników), używając wielobiegunowej elektrody wykonanej ze zwykłego zgłębnika żołądkowego. Ze względu na wysoki próg stymulacji zrezygnowali z dalszych badań.
- **1957 rok** — Weirich i Gott z zespołu Lilleheia (pioniera operacji w krążeniu pozaustrojowym w *University of Minnesota Medical School*) przedstawili metodę profilaktycznego implantowania

miokardialnej elektrody „drutowej” po zabiegach kardiochirurgicznych. W rok później Thevenet i Hodges opisali względnie bezpieczną metodę zakładania elektrody drutowej drogą punkcji ściany klatki piersiowej, a Olmsted i wsp. rekomendowali pozostawianie po kardiometrii dwóch elektrod drutowych w celu stymulacji bipolarnej. Według Huntera elektrody drutowe były stosowane przez Weiricha już w 1956 roku w nagłych sytuacjach podczas operacji kardiologicznych. Także Brockman i wsp. w 1956 roku zastosowali z powodzeniem elektrodę drutową u dziecka po zamknięciu ubytku w przegrodzie międzykomorowej.

- **1957 rok** — zespół Lilleheia po raz pierwszy użył przenośnego rozrusznika tranzystorowego zamiast stacjonarnego lampowego. Urządzenie, zasilane 9-woltową baterią rtęciową, wykonał Bakken, założyciel firmy Medtronic. Dostępne wówczas tranzystory germanowe o dużych stratach energii nie nadawały się jeszcze do wyprodukowania stymulatora wszczepialnego.
- **1958 rok** — Furman i Robinson zastosowali u człowieka stymulację endokawitarną za pomocą zaadaptowanego cewnika Cournanda (US Catheter Company, Glen Falls, Nowy Jork, Stany Zjednoczone), wprowadzonego przezżylnie do prawej komory serca [15]. W następnym roku Furman i Schwedel zdołali utrzymać stymulację u pacjenta przez 96 dni, wykazując tym samym użyteczność techniki endokawitarnej w terapii przewlekłej, także u pacjentów ambulatoryjnych. Zalecanym miejscem lokalizacji cewnika była droga wpływu prawej komory serca.
- **1958 rok**, *Karolinska University Hospital*, Sztokholm — Senning przeprowadził u Larssona (inżyniera elektryka), wszczepienie stymulatora zasilanego dwoma akumulatorami niklo-kadmowymi. Rozrusznik, skonstruowany w pośpiechu z wykorzystaniem tranzystorów krzemowych przez Elmquista (Elema-Schölander), okazał się w praktyce bardzo zawodny. Pomimo to wykonywano i wypróbowywano jego repliki także w innych ośrodkach.
- **1959 rok** — Glenn, Mauro i Eisenberg zastosowali stymulator wszczepialny częściowo: elektrody miokardialne połączono z umieszczoną podskórnym odbiorczą cewką indukcyjną. Stymulacja pochodziła z rozrusznika zewnętrznego z analogiczną cewką nadawczą. Energia elektryczna przekazywana była drogą sprzężenia indukcyjnego. Podobną technikę stymulacji zastosowano także w Europie (Abrams, 1960; Camilli, 1961) [16].

- **1959 rok**, *Bethesda Hospital*, St. Paul — Hunter zastosował bipolarną elektrodę epimiokardialną nowego typu, konstrukcji Rotha (*platform electrode*), posiadającą, jak na owe czasy, rewelacyjne parametry elektryczne [17].
- **1960 rok**, *Veterans Administration Hospital*, Buffalo — Chardack, Gage i Greatbach po raz pierwszy zastosowali całkowicie wszczepialny rozrusznik z baterią ogniów rtęciowych [18]. Pacjent, Hennafeld, korzystał ze stymulacji przez 18 miesięcy bez żadnych powikłań, co wówczas stanowiło wielki sukces. Rozrusznik został opatentowany przez Greatbacha, a wyłączne prawo do jego produkcji zakupiła w październiku 1960 roku firma Medtronic. Również w październiku tego samego roku Zoll wszczepił podobny rozrusznik firmy Electrodyne [19].
- **1961 rok** — Abelson wykorzystał czasową, endokawitarną, przezżylną stymulację jako zabezpieczenie implantacji rozrusznika z elektrodą epimiokardialną. W sierpniu następnego roku Parsonnet zastosował w tym samym celu elektrodę bipolarną w miejsce unipolarnej [20]. W późniejszych latach Parsonnet odegrał kluczową rolę w popularyzacji elektrod dwubiegowych [21].
- **1961 rok**, *Maimonides Hospital*, Brooklyn, Nowy Jork — Kantrowitz wszczepił rozrusznik o oryginalnym obwodzie elektronicznym, posiadający dwa tranzystory komplementarne w tzw. układzie Surana [22]. Powyższa konstrukcja firmy General Electric pozwalała w razie potrzeby na chwilowe zwiększenie częstotliwości stymulacji w sposób nieinwazyjny.
- **1962 rok**, *Karolinska University Hospital*, Sztokholm — Lagergren i Johansson założyli elektrodę endokawitarną do koniuszka prawej komory, a kilka tygodni później wszczepili rozrusznik, stosując jedynie miejscową analgezję.
- **1962 rok**, *Mount Sinai Hospital*, Miami — Nathan i wsp. zastosowali u człowieka rozrusznik komorowy (model *Atricor* firmy Cordis) sterowany załawkami P (VAT). Urządzenie to wymagało dodatkowej, przedsiionkowej elektrody i wszczepiane było z użyciem torakotomii.

Jak wynika z powyższego zestawienia, w latach 1952–1962 doszło do wielu odkryć, które inspirowały konstruktorów układów kardiostymulacyjnych w latach późniejszych.

Powstały wówczas podstawy technologii produkcji zestawów stymulujących, do budowy których wykorzystywano standardowe obecnie materiały biokompatybilne: gumę silikonową, teflon, żywicę epoksydową, stal nierdzewną, tantal, platynę.

Już wtedy rozumiano potrzebę prowadzenia stymulacji „na żądanie” (Damman, Leatham), o parametrach indywidualnie dostosowanych do potrzeb pacjenta (Chardack, Kantrowitz). Realizowano transmisję energii za pomocą pętli indukcyjnych poprzez ścianę klatki piersiowej (Glenn, Abrams, Camilli), analogicznie do rozwiązań stosowanych obecnie w teledymetrii.

Zdawano sobie sprawę ze znaczenia stymulacji fizjologicznej, na co wskazuje m.in. przebieg jednodniowej debaty sponsorowanej przez Instytut Rockefellera w listopadzie 1958 roku — dyskutanci skupili się wtedy na kwestii znaczenia synchronizacji przedsionkowo-komorowej, chociaż nie opanowano jeszcze podstawowych problemów technicznych przewlekłej kardiostymulacji [23].

Jak pokazały kolejne lata, droga nie była jednak prosta, wręcz przeciwnie — pełna zakrętów i pułapek. Początkowo wyższość stymulacji endokawitarnej nad epimiokardialną nie była wcale oczywista [24], zwłaszcza po zmniejszeniu inwazyjności torakotomii i wprowadzeniu elektrod „wkrętkowych” Huntera na początku lat 70. Pierwsze próby zwiększenia skuteczności mocowania elektrod endokawitarnych kończyły się niepowodzeniem i śmiercią pacjenta (elektroda zaczepowa Schaldacha). Kontrowersyjny był wybór źródła energii — przez całe lata 70. ogniwa litowe konkurowały z udoskonalonymi ogniwami rtęciowymi. Pewne znakomite rozwiązania techniczne zupełnie nie przyjęły się w praktyce klinicznej. Tak było z rozrusznikiem firmy Pacesetter (seria D), posiadającym akumulator niklowo-kadmowy pochodzący z satelity telekomunikacyjnego, ładowany cyklicznie przez (nie zawsze w pełni świadomego) pacjenta. Nie przyjęły się także rozruszniki jądrowe napędzane plutonem (Laurens-Alcatel, Medtronic oraz AEC, ARCO) lub prometem (*McDonnell Douglas*; Biotronik) ze względu na surowe przepisy dotyczące utylizacji izotopów promieniotwórczych.

Wśród urządzeń stymulujących zestawy tanie i pewne w działaniu konkurowały z finezyjnymi systemami nie zawsze sprawdzającymi się w praktyce klinicznej. Zawsze jednak utrzymywała się tendencja do wyposażania rozruszników w coraz liczniejsze funkcje uwzględniające nowe wskazania do elektrostymulacji serca. Wprowadzenie cyfrowych układów scalonych CMOS do konstrukcji rozruszników i ich „komputeryzacja” były jedynie etapem ewolucji technicznej, ale już nie rewolucją.

Reasumując, należy podkreślić, że „Złota Dekada” kardiostymulacji była sumą doświadczeń medycznych sięgających jeszcze XIX wieku, tworzących pewną „masę krytyczną”, która pozwoliła

środoowisku medycznemu na zaakceptowanie wizjonerskich doświadczeń Zolla w leczeniu zespołu Morgagniego-Adamsa-Stokesa. Grunt technologiczny był już wcześniej przygotowany. Wylimitowanie przez Lagergrena konieczności torakotomii znacznie zmniejszyło inwazyjność wszczepiania rozruszników i stworzyło perspektywy ich powszechnego zastosowania. Wytwarzanie kardiostymulatorów przeszło wkrótce z rąk entuzjastów (takich jak technik Davies z *St. George Hospital* w Londynie) w ręce profesjonalnych firm [25]. Obok

dotychczasowych producentów rozruszników (Medtronic, Cordis, Electrodyne, Elema-Schönander) pojawili się nowi (np. Vitatron, 1962, Biotronik, 1963).

Wszczepienie rozrusznika z elektrodą przezżylną zamknęło pełną inwencji i dynamizmu „Złotą Dekadę”. W ciągu 10 lat zastosowano w praktyce klinicznej wszystkie znane odmiany kardiostymulacji: przezskórną, przezprzelykową, transtorakalną, przezżylną. Można wręcz powiedzieć, parafrazując znane powiedzenie, że do dzisiaj trwa odcinanie kuponów od biletów sprzedanych w tamtych latach.

## Piśmiennictwo

1. Harken D.E., Zoll P.M. Foreign bodies in and in relation to the thoracic blood vessels and heart. II: Indications for the removal of intracardiac foreign bodies and the behavior of the heart during manipulation. *Am. Heart J.* 1946; 32: 1–19.
2. Grosogeat Y., Fontaine G. From the first endocardial electrogram to the ablative techniques. Half a century of cardiac electrophysiology. *Acta Cardiol.* 1996; 51: 203–234.
3. Jeffrey K. Cardiac pacing and electrophysiology at millenium end: historical notes and observations. *PACE* 1999; 22: 1713–1717.
4. Schechter D.C. Exploring the origins of electrical cardiac stimulation. Selected works of David Charles Schechter, M.D., F.A.C.S., on the history of electrotherapy. Medtronic Inc. 1983.
5. Luderitz B. Historical development of the cardiac pacemaker. *Z. Kardiol.* 1986; 75: 57–65.
6. Greatbatch W. Twenty-five years of pacemaking. *PACE* 1984; 7: 143–147.
7. Parsonnet V., Manhardt M. Permanent pacing of the heart: 1952 to 1972. *Am. J. Cardiol.* 1977; 39: 250–256.
8. Green G.D. The assesment and performance of implanted cardiac pacemakers. Butterwoths, London and Boston 1975.
9. Senning A. Cardiac pacing in retrospect. *Am. J. Surg.* 1983; 145: 733–739.
10. Furman S. A brief history of cardiac stimulation and electrophysiology — the past fifty years and the next century. From keynote address at NASPE’95. *HeartWeb*, October 1996; 1, No. 1 (materiał dostępny w internecie).
11. Gold R.D. Cardiac pacing — from then to now. *Med. Instrum.* 1984; 18: 15–21.
12. Lagergren H. 25 years of implanted intracardiac pacers. *Lancet* 1988; 8586: 636–638.
13. Zoll P.M. Resuscitation of the heart in ventricular standstill by external electric stimulation. *N. Engl. J. Med.* 1952; 247: 768–771.
14. Zoll P.M., Linenthal A.J. External and internal electric cardiac pacemakers. *Circulation* 1962; 27: 455–466.
15. Furman S., Escher D.J.W., Schwedel J.B., Solomon N. Transvenous pacing. A seven years review. *Am. Heart J.* 1966; 71: 408–416.
16. Abrams L.D., Hudson W.A., Lightwood R. A surgical approach to the management of the heart-block using an inductive coupled artificial cardiac pacemaker. *Lancet* 1960; I: 1372–1374.
17. Hunter S.W. Surgical electronic treatment for Stokes-Adams disease. *Geriatrics* 1962; 17: 379–382.
18. Chardack W.M., Gage A.A., Schimert G., Thomson N.B., Sanford C.E., Greatbach W. Two years clinical experience with the implantable pacemaker for complete heart block. *Dis. Chest.* 1963; 43: 225–239.
19. Zoll P.M., Linenthal A.J. Long-term electric pacemakers for Stokes-Adams disease. *Circulation* 1960; 22: 341–345.
20. Tancredi R.G., McCallister B.D., Mankin H.T. Temporary transvenous catheter-electrode pacing of the heart. *Circulation* 1968; 36: 598–608.
21. Parsonnet V., Gilbert L., Zucker I.R., Asa M.M. A plan for the treatment of complete heart block and Stokes-Adams syndrome with an intracardiac dipolar electrode and a permanent implantable pacemaker. *Angiology* 1963; 14: 343–348.
22. Kantrowitz A., Cohen R., Raillard H., Schmidt J., Feldman D.S. The treatment of complete heart block with an implanted, controllable pacemaker. *Surgery Gynec. Obstet.* 1962; 115: 415–420.
23. Jeffrey K. The next step in cardiac pacing: the view from 1958. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1992; 961–967.
24. Bluestone R., Davies G., Harris A., Leatham A., Siddons H. Long-term endocardial pacing for heart-block. *Lancet* 1965; II: 307–311.
25. Harris A., Bluestone E., Busby E., Davies G., Leatham A., Siddons H., Sowton E. The management of heart block. *Br. Heart J.* 1965; 27: 469–481.