

Zastosowanie robotów medycznych w kardiologii – przegląd obecnych rozwiązań technicznych

STRESZCZENIE

Stały rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) oraz rosnące zapotrzebowanie na wysoko specjalistyczne procedury medyczne, jak również dążenie do zwiększania precyzji tych procedur, doprowadziła do poszukiwania wsparcia w urządzeniach robotycznych. Artykuł prezentuje główne kierunki rozwoju robotyki w kardiologii i kardiologii ze szczególnym uwzględnieniem projektów prowadzonych w Polsce. Obecnie są już dostępne komercyjne systemy robotyczne do zastosowań w kardiologii interwencyjnej oraz ablacjach zaburzeń rytmu serca. Prowadzonych jest wiele projektów badawczo-rozwojowych mających na celu wprowadzenie nowych systemów robotycznych do innych procedur zabiegowych oraz kardiologii nieinwazyjnej.

Słowa kluczowe: roboty medyczne, zdalna echokardiografia, ablacja robotyczna, chirurgia robotyczna, PCI z zastosowaniem robota

Kardiol. Inwazyjna 2016; 11 (5): 40–44

ABSTRACT

The constant development of Information and Communication Technologies (ICTs) and the growing demand for highly specialized medical procedures, as well as striving to increase the precision of these procedures caused, that support by robotic devices is sought. The article presents the main directions of development of robotic application in cardiac surgery and cardiology with special emphasis on projects conducted in Poland. Currently, first commercial robotic systems for applications in cardiac surgery, interventional cardiology and ablation of cardiac arrhythmias are available. Plenty of research and development projects, which intend to introduce new robotic systems for other invasive procedures and non-invasive cardiology, is ongoing.

Key words: medical robots, remote echocardiography, robotic ablation, robotic surgery, robotic-assisted PCI

Kardiol. Inwazyjna 2016; 11 (5): 40–44

Wprowadzenie

Stały rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT, *information and communication technologies*) oraz stałe poszukiwanie rozwiązań zwiększających efektywność i dostępność procedur medycznych skłania do tworzenia i korzystania z rozwiązań automatycznych lub półautomatycznych również w dziedzinie medycyny. Zautomatyzowane urządzenia określane ogólnym mianem „robotów” już wcześniej znajdowały niszowe zastosowania przy niektórych czynnościach medycznych, jednak dopiero obecnie działania przez nie wykonywane stają się powszechnie zauważalne. Roboty medyczne w czasach coraz większych oczekiwań pacjentów, rozwoju metod diagnostycznych, a przede wszystkim coraz trudniejszego dostępu do specjalistów są szansą na usprawnienie i większą precyzję skomplikowanych procedur medycznych oraz zwiększenie dostępności do wysokospecjalistycznej opieki medycznej.

Dorota Szczęśniak-Stańczyk,
Wojciech Brzozowski,
Andrzej Wysokiński

Katedra i Klinika Kardiologii,
Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Roboty w kardiochirurgii

Roboty chirurgiczne pierwotnie były budowane z myślą o wspomaganiu procedur kardiochirurgicznych. I chociaż znacznie szerzej są obecnie stosowane w innych dziedzinach chirurgii to w ostatnich latach wzrosła również liczba zabiegów operacyjnych serca, gdzie przynajmniej częściowo praca chirurga jest wspomagana przez systemy robotyczne. Robot DaVinci zbudowany przez firmę Intuitive Surgical jest bez wątpienia liderem wśród robotów operacyjnych [1].

Największą korzyścią z zastosowania robotów w zabiegach chirurgicznych, określanych dzisiaj mianem *minimally invasive surgery*, jest zmniejszenie traumatyczności tych zabiegów dla pacjenta, a co za tym idzie skrócenie czasu hospitalizacji. Istotną jest również większa precyzja zabiegów oraz mniejsze obciążenie lekarza operatora. Niektóre badania obserwacyjne potwierdzają również większe bezpieczeństwo i mniejszą liczbę powikłań takich zabiegów [2].

W tej dziedzinie Polska ma również swój istotny wkład. W Zabrze jako jeden z pierwszych na świecie powstał prototypowy robot do operacji na otwartym sercu — Robin Heart [3]. Prace rozwojowe prowadzone przez ostatnie lata pozwoliły na stworzenie nowej generacji tego robota, która odpowiada międzynarodowym standardom i może zostać wprowadzona do praktyki klinicznej. Warty podkreślenia jest fakt, że jeszcze w tym roku planowana jest pierwsza operacja z zastosowaniem polskiego robota toru wizyjnego Robin Heart Port Vision Able (PVA), zbudowanego przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrzu. Robot ten zastąpi asystenta sterującego położeniem toru wizyjnego.

Roboty do interwencji przezskórnej

Największą popularnością w kardiologii cieszą się obecnie systemy robotyczne stosowane w interwencjach przezskórnych, takich jak ablacja przezskórna i przezskórna angioplastyka naczyń wieńcowych. Urządzenia te umożliwiają zdalne prowadzenie cewnika przez lekarza, który w trakcie zabiegu może znajdować się w innym pomieszczeniu niż pacjent.

Obecnie na rynku dostępne są cztery systemy pozwalające na zdalną nawigację cewników ablacyjnych. Dwa z nich są systemami robotycznymi, w których nawigacja jest mechaniczna, czyli zdalnie sterowanie przez lekarza urządzenie robotyczne mechanicznie manipuluje cewnikiem ablacyjnym. Przebieg zabiegu jest przez lekarza obserwowany na monitorze. Są to Sensei X firmy Hansen Medical [4], system ten jest zbudowany w oparciu o zautomatyzowaną samosterującą koszulkę; oraz Amigo firmy Catheter Robotics [5] uniwersalne zdalnie

sterowane urządzenie współpracujące ze wszystkimi typami urządzeń do ablacji oraz umożliwiające zdalną manipulację każdym z dostępnych na rynku cewników.

Dwa kolejne to systemy, w których cewnik jest sterowany polem magnetycznym: NIOBE firmy Stereotaxis [6] oraz CGCI firmy Magnetecs [7]. Systemy te zmniejszają czas trwania zabiegu dzięki łatwiejszemu i bardziej precyzyjnemu przeprowadzeniu cewnika ablacyjnego. Niedogodnością dwóch ostatnich systemów jest rozmiar urządzeń wymagający zapewnienia sali zabiegowej przeznaczonej specjalnie dla takiego systemu. W chwili obecnej brak jest badań wykazujących, które systemy są bezpieczniejsze i efektywniejsze.

Dostępny jest też system robotyczny do przeprowadzania przezskórnej angioplastyki naczyń wieńcowych CorPath® System firmy Corindus Vascular Robotics [8] umożliwiający bardziej precyzyjne umieszczanie stentów. Badania wykazują również, że system ten zwiększa bezpieczeństwo pacjenta podczas zabiegów angioplastyki naczyń wieńcowych [9].

Warty zaznaczenia jest projekt realizowany w ramach międzynarodowego konsorcjum naukowo-badawczego CASCADE (*Cognitive AutonomouS CAtheters operating in Dynamic Environments*) [10]. Projekt ten ma na celu stworzenie autonomicznego zrobotyzowanego cewnika do przezskórnej wymiany zastawki aortalnej. Celem projektu Cascade jest uzyskanie możliwości optymalnego pozycjonowania sztucznej zastawki aortalnej.

Niestety wysokie koszty urządzeń robotycznych w chwili obecnej ograniczają ich powszechne zastosowanie w kardiologii inwazyjnej. Niemniej zarówno producenci, jak i zespoły ośrodków, w których wykonuje się zabiegi z wykorzystaniem systemów robotycznych, zwracają uwagę na korzyści związane z wykorzystaniem tych urządzeń. Najważniejsze z nich to:

- zmniejszenie narażenia lekarzy wykonujących te procedury na promieniowanie jonizujące oraz potencjalne zmniejszenie liczby zachorowań na nowotwory mózgu w tej grupie zawodowej [11];
- skrócenie czasu zabiegu i zmniejszenie dawki promieniowania rentgenowskiego, na którą narażony jest pacjent, a co za tym idzie również dawki podanego kontrastu [9].

Producenci wyżej wymienionych urządzeń oraz niektórzy autorzy podkreślają, że pierwsze randomizowane badania z zastosowaniem systemów robotycznych wykazują podobną lub większą efektywność zabiegów przezskórnych oraz lepszy profil bezpieczeństwa w porównaniu do zabiegów wykonywanych w sposób tradycyjny [9, 12, 13].

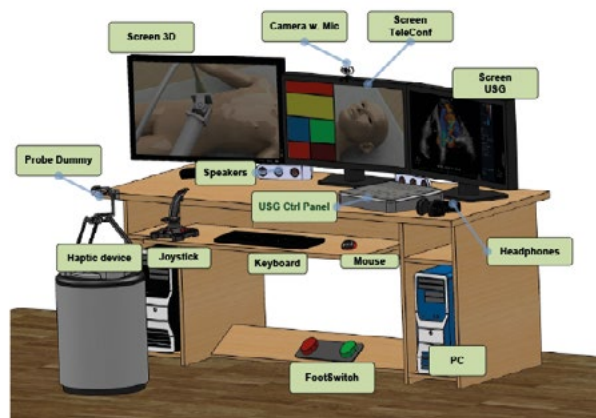
Roboty do zdalnej diagnostyki — system ReMeDi

Obecnie roboty wkraczają również w obszar badań nieinwazyjnych. Badania nad zdalną zrobotyzowaną ultrasonografią rozpoczęły się już w 1999 roku [14], ale stopień zaawansowania technologicznego ówczesnych urządzeń był jeszcze zbyt niski, żeby wprowadzić je do powszechnej praktyki klinicznej. Dopiero w ostatnich latach pojawiły się pierwsze urządzenia robotyczne do zdalnej ultrasonografii — Medirob (Medirob) przeznaczony do echokardiografii oraz Melody (AdEchoTech) do ultrasonografii jamy brzusznej, których wykorzystanie pozwala na wykonanie prostych badań na odległość.

Bez wątplenia te nowe rozwiązania będą stanowiły pomost pomiędzy czynnościami wykonywanymi wyłącznie przez personel medyczny i urządzeniami działającymi w sposób (częściowo) autonomiczny. Zainteresowanie tego typu urządzeniami związane jest z obecnymi trendami demograficznymi, prowadzącymi do stopniowego starzenia się społeczeństw wysokorozwiniętych i wzrostu zapotrzebowania na specjalistyczną opiekę medyczną [15]. Urządzenia tego typu dedykowane są obecnie głównie do zastosowania w sytuacjach nagłych, gdzie istotna jest szybka i precyzyjna diagnoza. W miarę postępu w medycynie i wprowadzaniu nowych wysokospecjalistycznych rozwiązań prawdopodobnie będą one wspierać w procesie diagnostycznym w celu zapewnienia pacjentowi optymalnej terapii.

Wysokim zaawansowaniem charakteryzują się obecnie prace nad robotem umożliwiającym lekarzowi wykonanie zdalnego badania przedmiotowego oraz ultrasonograficznego, w tym echokardiograficznego. Projekt ten określany akronimem ReMeDi (*Remote Medical Diagnostician*; <http://www.remedi-project.eu/>) realizowany jest przez konsorcjum międzynarodowe przy znaczącym zaangażowaniu jednostek naukowych z Polski, obejmuje działania inżynierskie (ACCREA Engineering, Politechnika Wroclawska), jak i medyczne (Katedra i Klinika Kardiologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie) [16].

Projekt zakłada stworzenie urządzenia, systemu robotycznego, za którego pomocą będzie możliwe przeprowadzenie zdalnego badania echokardiograficznego, palpacyjnego i osłuchiwania pacjenta w sytuacji konieczności wykonania tego badania przez wysokiej klasy specjalistę przebywającego w innej lokalizacji oddalonej nawet o wiele kilometrów, przy jednoczesnej możliwości zachowania pełnej interakcji lekarza z badanym. Model systemu ReMeDi przedstawiają ryciny 1 i 2. Mimo że system ReMeDi w swoich założeniach jest systemem telemedycznym, to zaangażowanie najnowszych technologii sprawia, że twórcy projektu wykonali kolejny krok w kierunku zapewnienia zdalnej obecności lekarza.



Rycina 1. Model systemu ReMeDi po stronie lekarza diagnosty



Rycina 2. Model systemu ReMeDi po stronie pacjenta

Zdalnie sterowany robot będzie charakteryzował się częściową autonomią pod względem poruszania się i pokonywania przeszkód, jak również możliwością samodzielnego budowania mapy pomieszczeń, w których będą wykonywane badania. Będzie to umożliwiało samodzielne lub też częściowo samodzielne dotarcie robota na miejsce badania. Wyposażenie robota w system kamer przekazujących obrazy w technologii 2D i 3D w wysokiej rozdzielczości, jak i mikrofonów do transmisji dźwięku zapewni kontakt wzrokowy i dźwiękowy z badanym. Kluczowe jest jednak zastosowanie złożonego interfejsu dotykowego (haptycznego), przekazującego uczucie dotyku oraz siły wywieranej na ciało pacjenta. Stworzenie tego rodzaju systemu haptycznego będzie umożliwiało zdalne wykonanie podstawowych i praktycznie niemożliwych do zastąpienia technik badania — osłuchiwania i palpacji oraz echokardiografii u pacjenta wymagającego szybkiej specjalistycznej interwencji, na przykład w przypadku ostrej niewydolności serca lub rozwarstwienia aorty. Badanie echokardiograficzne będzie prowadzone dzięki interfejsom haptycznym z pełnym wyczuciem tkanek pacjenta i pewnemu prowadzeniu głowicy echokardiograficznej. Rozszerzeniem badania może być oczywiście podstawowe badanie ultrasonograficzne jamy brzusznej lub też inne badania ultrasonograficzne, ponieważ system ma zapewniać możliwość wymiany głowic. Należy podkreślić, że działania z wykorzystaniem systemu robotycznego



Rycina 3. Obecny wygląd systemu ReMeDi — robot z zamontowanym aparatem do ultrasonografii



Rycina 4. Obecny wygląd systemu ReMeDi — panel sterowania lekarza

ReMeDi odbywać się będą w czasie rzeczywistym, co dotyczy nie tylko systemu telekonferencyjnego, ale przede wszystkim badania palpacyjnego i ultrasonograficznego. Specjalista prowadzący badanie zdalnie dysponował będzie zestawem monitorów wizualizujących pacjenta oraz przekazujących dane badania. Pacjent natomiast będzie miał pełny kontakt wizualny i werbalny z lekarzem. Z uwagi na konieczność pełnego zabezpieczenia pacjenta badanie będzie przeprowadzane w obecności asystenta [17]. Projekt ReMeDi znacząco wybiega w przyszłość i prawdopodobnie ma szanse stanowienia podłoża dla innych systemów opartych na podstawowych przecież dla człowieka, a w szczególności dla lekarza zmysłach. Projekt wchodzi obecnie w stadium końcowe. Jest już możliwe przeprowadzenie zdalnego

badania echokardiograficznego oraz osłuchiwania przy wsparciu przez dedykowany system telekonferencyjny. Obecny stan zaawansowania systemu ReMeDi przedstawiony jest na rycinach 3 i 4. Jeszcze w obecnym roku system zostanie zaprezentowany szerokiej publiczności i zorganizowane zostaną pierwsze warsztaty z lekarzami.

Podsumowanie

Robotyka medyczna jest stosunkowo młodą, ale prężnie rozwijającą się dziedziną nauki. Roboty coraz częściej wchodzą do naszej codziennej praktyki, wspomagając pracę lekarza. Największym ograniczeniem w powszechnym zastosowaniu robotów medycznych w wielu krajach jest nadal ich wysoka cena. Wielu lekarzy również wyraża pewne obawy związane z zastosowaniem robotów w medycynie. Związane są one z niepewnością, czy proces uczenia nie wydłuży się oraz czy urządzenia robotyczne nie zastąpią lekarza przy wykonywaniu pewnych zabiegów.

Należy pamiętać, że pomimo szybkiego postępu technicznego i opracowywania coraz nowszych generacji robotów, jeszcze przez wiele lat nawet najbardziej zaawansowane systemy robotyczne nie będą w stanie zastąpić lekarza i jego doświadczenia. Za każdym systemem robotycznym nadal musi stać człowiek, który podejmuje decyzje diagnostyczne i terapeutyczne.

Podziękowania

Autorzy dziękują wszystkim partnerom projektu ReMeDi za współpracę przy urzeczywistnieniu wizji robota ReMeDi.

Badania prowadzone w ramach projektu ReMeDi są finansowane przez Komisję Europejską (umowa grantowa nr 610902) oraz przez Ministerstwo Nauki w ramach funduszy dla nauki na lata 2014–2016 w ramach współfinansowania projektów międzynarodowych.

Piśmiennictwo

1. Moss E., Murphy D.A., Halkos M.E. Robotic cardiac surgery: current status and future directions. *Robotic Surgery: Research and Reviews* 2014; 1: 27–36.
2. Modi P., Hassan A., Chitwood WR Jr. Minimally invasive mitral valve surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2008; 34: 943–952.
3. Nawrat Z. Medical robots in cardiac surgery. *Kardiochir. Torakochirurg. Pol.* 2008; 5: 440–447.
4. Wazni O.M., Barrett C., Martin D.O. i wsp. Experience with the hansen robotic system for atrial fibrillation ablation—lessons learned and techniques modified: Hansen in the real world. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2009; 20: 1193–1196.

5. Knight B., Ayers G.M., Cohen T.J. Robotic positioning of standard electrophysiology catheters: a novel approach to catheter robotics. *J. Invasive. Cardiol.* 2008; 20: 250–253.
6. Carpi F., Pappone C. Stereotaxis Niobe magnetic navigation system for endocardial catheter ablation and gastrointestinal capsule endoscopy. *Expert. Rev. Med. Devices* 2009; 6: 487–498.
7. Filgueiras-Rama D., Estrada A. Shachar J. i wsp. Remote magnetic navigation for accurate, real-time catheter positioning and ablation in cardiac electrophysiology procedures. *J. Vis. Exp.* 2013; 74: 3658.
8. Smilowitz N.R., Weisz G. Robotic-assisted angioplasty: current status and future possibilities. *Current Cardiol. Reports* 2012; 14: 642–646.
9. Smilowitz N.R., Moses J.W., Sosa F.A. i wsp. Robotic-enhanced PCI compared to the traditional manual approach. *J. Invasive. Cardiol.* 2014; 26: 318–321.
10. www.cascade-fp7.eu. Dostęp: 05.09.2016.
11. Roguin A., Goldstein J., Bar O. Brain tumours among interventional cardiologists: a cause for alarm? Report of four new cases from two cities and a review of the literature. *EuroIntervention* 2012; 7: 1081–1086.
12. Nguyen B.L., Merino J.L., Gang E.S. Remote navigation for ablation procedure. A new step forward in new treatment of cardiac arrhythmias. *Eur. Cardiol.* 2010; 6: 50–56.
13. Lorgat F, Pudney E., van Deventer H., Chitsaz S. Robotically controlled ablation for atrial fibrillation: the first real-world experience in Africa with the Hansen robotic system. *Cardiovasc. J. Afr.* 2012; 23: 274–820.
14. Salcudean S.E., Bell G., Bachmann S. i wsp. Robot-assisted diagnostic ultrasound — design and feasibility experiments, in MOCCAI'99, C. Taylor and A. Colchester Eds., LNCS Series, Vol. 1679: 1063–1071
15. The 2015 Ageing Report Joint Report prepared by the European Commission (DG ECFIN) and the Economic Policy Committee (AWG); EUROPEAN ECONOMY 8/2014.
16. www.remedi-project.eu. Dostęp: 05.09.2016.
17. Szczesniak-Stanczyk D., Stanczyk B. Novel robotic system for remote ultrasonography — from idea to the first prototype. Presentation of the ReMeDi Project. *Medical Robotics Reports* 2015; 4: 31–38.

Adres do korespondencji:

Prof. dr hab. n. med. Andrzej Wysokiński
Katedra i Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Lublinie
ul. Jaczewskiego 8, 20–954 Lublin
tel.: (+48 81) 724 41 51; faks: (+48 81) 724 41 51
e-mail: a.wysokinski@umlub.pl