

## Robotyka w medycynie

### Robotics in medicine

Zygmunt Zdrojewicz<sup>1</sup>, Wojciech Witkiewicz<sup>2</sup>, Anna Dołowicz<sup>3</sup>, Jakub Głód<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Katedra i Klinika Endokrynologii, Diabetologii i Leczenia Izotopami, Uniwersytet Medyczny, Wrocław (Department of Endocrinology, Diabetology and Isotope Treatment, Medical University of Wrocław, Poland)

<sup>2</sup>Wojewódzki Szpital Specjalistyczny, Wrocław (Research and Development Centre, Regional Specialized Hospital, Wrocław, Poland)

<sup>3</sup>Wojskowy Szpital Kliniczny, Wrocław (Military Hospital, Wrocław, Poland)

<sup>4</sup>Szpital Wielospecjalistyczny, Jaworzno (Specialized Hospital, Jaworzno, Poland)

#### Streszczenie

Robotyka znajduje zastosowanie w medycynie już od wielu lat. Jej szybki rozwój w ostatnim czasie zdecydowanie ułatwił pracę lekarzom wielu specjalności. Możliwości robotów są wykorzystywane między innymi w chirurgii ogólnej, chirurgii onkologicznej, ginekologii, urologii, bariatrii, torakochirurgii, transplantologii. Robot da Vinci umożliwia wykonywanie małoinwazyjnych operacji, które mają przewagę nad chirurgią laparoskopową i klasyczną. Praca nad polską rodziną robotów Robin Heart może niebawem ułatwić przeprowadzanie operacji kardiochirurgicznych. Ponadto coraz częstsze staje się zastosowanie robotów w nanomedycynie. Pierwsze próby zastosowania nanorobotów w komórkach ludzkich dają nadzieję na szersze ich wykorzystanie w przyszłości.

**Słowa kluczowe:** robotyka, roboty medyczne, robot da Vinci, Robin Heart, nanomedycyna

Chirurgia Polska 2014, 16, 2, 84–90

#### Abstract

Robotics has application to medicine for many years. Its rapid development has greatly improved the work of doctors of many specialties in recent years. Capabilities of robots are used i.a.: in surgery, gynecology, urology, bariatrics, thoracic surgery, transplantology. Worldwide famous the „da Vinci” robot enables minimally invasive treatments, which often has an advantage over laparoscopic and traditional surgery. The work on the polish group of robots „Robin Heart” may soon simplify to carry out cardiac surgery. Moreover, the robots are used in nanomedicine, which is more and more famous in recent years. The first attempts of application of nanobots in human cells gives hope for wider use in the future.

**Key words:** robotics, medical robots, da Vinci robot, Robin Heart, nanomedicine

Polish Surgery 2014, 16, 2, 84–90

## Wstęp

Jeszcze kilkadziesiąt lat temu nikt nie przypuszczał, że „roboty” znajdą zastosowanie w medycynie. Początki ich wprowadzenia do medycyny to lata 80. ubiegłego wieku. Obecnie roboty medyczne ułatwiają pracę lekarzom wielu specjalności. Ich zastosowanie odnajduje się głównie w chirurgii ogólnej, chirurgii

onkologicznej, ginekologii, urologii, bariatrii, torakochirurgii, transplantologii.

## Robotyka, co to takiego?

Robotyka jest interdyscyplinarną dziedziną nauki, łączącą wiedzę z zakresu mechaniki, automatyki, informatyki, sensoryki oraz cybernetyki. Zajmuje się wybra-

nymi czynnościami, którymi dysponuje chirurg, dzięki użyciu dostępnych środków technicznych [1]. Robotyka medyczna to bardzo szybko rozwijająca się dziedzina nauki, która wykorzystuje roboty medyczne oraz roboty rehabilitacyjne.

## Robot medyczny

Robot medyczny to narzędzie w ręku chirurga, pozwalające na wykonywanie operacji chirurgicznych w bardzo trudnych okolicach anatomicznych ludzkiego ciała w sposób bardzo precyzyjny. W większości przypadków roboty medyczne to telemanipulatory, które łączą działanie lekarza oraz efektora po drugiej stronie. Lekarz poprzez odpowiedni sposób sterowania ruchami robota decyduje o tym, jakie zadanie ma być wykonane. Natomiast zadaniem ramienia jest wykonanie w sposób precyzyjny polecenia narzuconego przez chirurga. Roboty medyczne znajdują także zastosowanie w pomocy pacjentom i osobom niepełnosprawnym [1]. Są one wykorzystywane w wielu dziedzinach medycyny. Możemy wśród nich wymienić między innymi:

- roboty chirurgiczne — ich główną zaletą jest niezwykła precyzja w wykonywanym zabiegu oraz mniejsze ryzyko błędu;
- roboty rehabilitacyjne — grupa robotów medycznych, mająca na celu pomoc osobom niepełnosprawnym oraz pacjentom starszym, czy unieruchomionym po zabiegach;
- roboty nawigacyjne bierne — ich zastosowanie odnajduje się głównie w neurochirurgii, mają na celu precyzyjne pozycjonowanie i utrzymanie odpowiedniego toru narzędzi w czasie operacji;
- roboty nawigacyjne czynne — ich zadaniem jest wykonywanie zadań zleconych przez operatora [2].

## Historia chirurgii robotowej

Roboty od wieków fascynowały ludzi. Przykłady opisów pierwszych humanoidalnych automatów można doszukiwać się już w Biblii, w Księdze Ezechiela (Rozdział 37). W Iliadzie opisana została istota o trzech nogach i własnej nawigacji powołana do życia przez Hefajstosa. W literaturze kolejnych wieków pojawiały się miotły, posągi stworzone z gliny czy lalki posiadające własną autonomię [3]. Roboty były też przedmiotem zainteresowania innych artystów. W 1495 roku Leonardo da Vinci stworzył projekt humanoidalnego automatu, który wyglądem przypominał średniowiecznego, germańskiego rycerza. Maszyna miała być zasilana z zewnętrznego układu korbowego podłączonego do okolic stawów w kończynach dolnych i górnych, co pozwalałoby na poruszanie podobne do ruchów ludzkich. Najprawdopodobniej artyście nie udało się zbudować swojego urządzenia, ale notatki z projektem odnaleziono w 1950 roku. Na podstawie szkicownika Leonarda zbudowano robot, który okazał się w pełni funkcjonalny [4].

Pierwszym, który użył słowa „robot” we współczesnym znaczeniu, był Karel Čapek, czechosłowacki pisarz.

W swoim dramacie scenicznym przedstawił sztuczne żywe istoty, które tworzone przez człowieka z czasem uczą się przemocy i buntują się przeciwko swoim twórcom [5]. Temat robotów stał się jednym z głównych motywów literatury *science fiction* i pojawiał się w wielu dziełach dwudziestowiecznych pisarzy. Wraz z rozwojem telewizji również reżyserzy filmowi coraz częściej wykorzystywali mechaniczne istoty ożywione w swoich produkcjach, jednym z najśtywniejszych przykładów może być robot C-3PO z sagi Gwiezdne Wojny [6]. Po raz pierwszy z asysty robota skorzystał dr Yik San Kwok ze szpitala w Long Beach w 1985 roku. Dzięki pomocy robota Puma 560 wykonane biopsje neurochirurgiczne były bardziej precyzyjne i szybsze [7]. Trzy lata później Davies i wsp. przeprowadzili przezcewkową resekcję gruczołu krokowego przy użyciu tego samego robota. Pozytywne wyniki operacji doprowadziły do opracowania robota PROBOT zaprojektowanego specjalnie do przezcewkowej prostatektomii. W tym samym czasie rozwijany był również system ROBODOC® stworzony na potrzeby operacji ortopedycznych. ROBODOC® był pierwszy robotem chirurgicznym zatwierdzonym przez FDA (*Food and Drug Administration*) [8].

Dalszy dynamiczny rozwój chirurgii robotowej jest zastęgą naukowców z NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), którzy zainteresowali się koncepcją telechirurgii i wraz z zespołem ze *Stanford Research Institute* stworzyli wielofunkcyjne ramię chirurgiczne. Wynikami ich przedsięwzięć zaciekała się armia Stanów Zjednoczonych, która w telechirurgii upatrywała możliwość zmniejszenia śmiertelności żołnierzy na polu walki. Dzięki pomocy finansowej armii Stanów Zjednoczonych próbowano opracować system, który pozwalał na operację ранego żołnierza przy użyciu robota obsługiwane go zdalnie przez chirurga znajdującego się w szpitalu chirurgicznym oddalonym od miejsca walk. Doświadczenia lekarzy i inżynierów tworzących projekty robotów wykorzystywane do celów wojskowych, ostatecznie posłużyły do wprowadzenia systemów chirurgii robotowej, stosowanych w leczeniu cywilnym. Pod koniec lat 90. XX wieku do użytku oddano robota Zeus, o którym zrobiło się głośno w 2001 roku, kiedy to przy jego użyciu prof. Jacques Marescaus, przebywający w Nowym Jorku, wykonał cholecystektomię u 68-letniej pacjentki będącej w klinice w Strasburgu [9].

## Zastosowanie robotów w medycynie

Obecnie roboty znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny. Poniżej zaprezentowano podstawowe znaczenie wybranych robotów medycznych oraz specjalnościach, w jakich są wykorzystywane.

### Ginekologia

Roboty medyczne pozwalają na przeprowadzenie niemal każdej operacji w obrębie jamy brzusznej. Wskazania do ich zastosowania są praktycznie takie same, jak wskazania do operacji konwencjonalnych. Należy jednak zawsze przeanalizować dodatkowe zalety i wady wyboru jednego z postępowań. W przypadku prostych operacji

związanych z leczeniem czy diagnostyką stanów nagłych w ginekologii zastosowanie robota nie jest wskazane, ze względu na możliwość równie dobrego postępowania dzięki konwencjonalnym metodom. Na niekorzyść robotów przemawia obecnie wysoki koszt użycia. Najszersze zastosowanie robotów ma miejsce obecnie w ginekologii onkologicznej: histerektomii, usuwania mięśniaków, wyluszczenia zmian łagodnych w obrębie jajnika czy też usuwania ognisk endometriozы [10].

### Urologia

W 2000 roku we Frankfurcie po raz pierwszy wykonano radykalną prostatektomię przy pomocy robota [11]. Od tego czasu RARP (*robot assisted radical prostatectomy*) szybko stała się wiodącą metodą w leczeniu raka prostaty. W 2007 roku w Stanach Zjednoczonych, ponad 60% pacjentów poddanych radykalnej prostatektomii było operowanych za pomocą robota [12]. Menon i wsp. wśród korzyści wynikających z zastosowania tej techniki operacyjnej wymieniają krótszy czas zabiegu, zmniejszoną utratę krwi, zmniejszoną liczbę powikłań, co skutkuje krótszym pobytem w szpitalu oraz szybszym powrotem potencji i trzymania moczu [13]. Po udanym zastosowaniu robota w radykalnej prostatektomii nastąpił wzrost liczby procedur urologicznych z wykorzystaniem robota da Vinci. Należą do nich operacje, takie jak całkowita i częściowa nefrektomia, pieloplastyka, sakrokolpopexja, cystoprostatektomia, reimplantacja moczowodu oraz wazowazostomia [14].

### Chirurgia ogólna

Po raz pierwszy w chirurgii ogólnej robota Da Vinci wykorzystano w 2000 roku w *Ohio State University*. Z tego okresu pochodzą pierwsze opublikowane na świecie raporty, które opisywały zastosowanie robota w chirurgii przetyku i trzustki [15]. W 2007 roku w Chicago zespół kierowany przez prof. Piera Cristoforo Giulianottiego wykonał zabiegi na trzustce. W następnym roku ten sam zespół wykonał pierwsze na świecie małoinwazyjne pobranie segmentu wątroby od żywego dawcy do przeszczepu [16]. Dzięki systemom Zeus i da Vinci na całym świecie wykonuje się operacje bariatryczne w leczeniu otyłości. Na początku lekarze z różnych stron świata publikowali przypadki, które prezentowały odmienne techniki przeprowadzania operacji z użyciem robotów w chirurgii przewodu pokarmowego [17]. Zaczęto opracowywać procedury niezbędne do wykonywania poszczególnych operacji [18].

### Kardiologia

Korzyści wynikające z zastosowania chirurgii robotowej sprawiły, że stała się ona przedmiotem zainteresowania kardiochirurgów i kardiologów inwazyjnych. Wśród korzyści wynikających z użycia małoinwazyjnych technik kardiologii zwracają uwagę na mniejsze nacięcie, krótszy czas pobytu, lepszy efekt kosmetyczny, w porównaniu z zabiegami tradycyjnymi oraz szybszy powrót do przedoperacyjnej aktywności pacjenta. Obecnie do operacji wykonywanych przy użyciu systemu chirurgicznego

Da Vinci należą plastyka zastawki mitralnej, rewaskularyzacja tętnic wieńcowych, ablacja stosowana w leczeniu migotania przedsionków, resekcja wewnątrzsercowych zmian nowotworowych oraz korekcja wrodzonych wad serca [19]. Najczęściej wykonywaną z wyżej wymienionych procedur jest operacja zastawki dwudzielnej. Pierwszy tego typu zabieg wykonano w 1998 roku przez Carpentiera [20]. Mihaljevic i wsp. porównali wyniki robotyzowanej naprawy zastawki z pełną oraz częściową sternotomią wykonywane w latach 2006–2009. Średni czas operacji za pomocą robota medycznego okazał się 42 minuty dłuższy niż całkowitej sternotomii i 39 minut dłuższy niż w częściowej. Natomiast niższy był odsetek pooperacyjnych powikłań w postaci migotania przedsionków i wysięku opłucnej, co przyczyniło się do krótszego pobytu w szpitalu o średnio jeden dzień, w porównaniu z pozostałymi metodami operacji [21]. Podobne wyniki zostały odnotowane przez lekarzy z Uniwersytetu w Pensylwanii, którzy poza krótszym czasem pobytu zaobserwowali również konieczność użycia prawie dwukrotnie mniejszych objętości preparatów krwiozastępczych u pacjentów operowanych za pomocą robota [22]. Zastosowanie robotów medycznych przyczyniło się do powstania nowej metody pomostowania aortalno-wieńcowego — TECAB (*totally endoscopic coronary artery bypass surgery*). Zastosowana po raz pierwszy w 1998 roku procedura wykonywana jest bez otwierania klatki piersiowej oraz bez konieczności stosowania krążenia pozaustrojowego (tak zwana operacja na bijącym sercu) [23].

### Neurochirurgia

W neurochirurgii roboty stosuje się do operacji stereotaktycznych. Dzięki nim istnieje możliwość precyzyjnego zaprogramowania celów i ruchów operacyjnych. Ich zdecydowanymi zaletami są operacja w wąskim polu operacyjnym, przy trudnym dostępie do pożądanego struktury, precyzja i powtarzalność ruchów. Dodatkowo roboty potrafią niwelować efekt zmęczenia, w postaci drżących rąk [24].

Robotyzacja w neurochirurgii może występować w kilku postaciach. W pierwszym z systemów lekarz nadzoruje czynności robota, którego działanie oparte jest na wprowadzeniu danych uzyskanych z badań obrazowych. Kolejny system telechirurgiczny umożliwia neurochirurgowi kontrolę robota; to lekarz pozostaje odpowiedzialny za przeprowadzanie zabiegu. Odbywa się to w czasie rzeczywistym. Poprzez sterowanie odpowiednim interfejsem lekarz jest w stanie modyfikować ruchy robota. Trzeci system, to system mieszany. W tym przypadku ruchy neurochirurga są modyfikowane lub wspomagane przez robota [25, 26].

### Okulistyka

Obecnie trwają badania oceniające przydatność mikrochirurgicznego robota IRISS (*intraocular robotic interventional and surgical system*) w praktyce klinicznej. Pierwsze doświadczalne operacje przeprowadzone na zwierzętach przynoszą pozytywne rezultaty.

Duże nadzieje wiążą się zwłaszcza z możliwością zmniejszenia powikłań operacyjnych wskutek zwiększenia precyzji operacji oraz zmniejszenia drżenia rąk i dokładnej regulacji siły nacisku narzędzi chirurgicznych na delikatne struktury oka. Obecnie trwają dalsze badania na zwierzętach w celu poprawy wad tej technologii, takich jak dokładność odwzorowania ruchów rąk chirurga oraz zakres działania przyrządów wewnątrzgałkowych [27, 28].

## Chirurgia robotowa w Polsce

W Polsce po raz pierwszy robot chirurgiczny da Vinci został wprowadzony do pracy 09.12.2010 roku w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu, Ośrodku Badawczo-Rozwojowym, dzięki staraniom profesora Wojciecha Witkiewicza. Robot ten został wyprodukowany przez *Intuitive Surgical Systems* w Stanach Zjednoczonych. Da Vinci to dla polskiej medycyny ogromny krok naprzód. W związku z perspektywami, jakie daje możliwość praktycznego wykorzystania zdolności tego urządzenia, w marcu 2011 z inicjatywy prof. Wojciecha Witkiewicza oraz grupy chirurgów z Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego we Wrocławiu, Ośrodka Badawczo-Rozwojowego, powstało Polskie Towarzystwo Chirurgii Robotowej, którego pierwszym prezesem został prof. Witkiewicz [9]. Celem Towarzystwa jest wdrażanie nowych technik leczenia operacyjnego, opartych na wykorzystaniu najbardziej zaawansowanego technologicznie sprzętu medycznego, jakim jest robot chirurgiczny, jak również propagowanie wiedzy na jego temat. Pierwsze operacje zostały przeprowadzone przez zespół kierowany przez prof. Wojciecha Witkiewicza w asyście ekspertów zagranicznych z różnych stron Europy i świata. Współpraca prof. Witkiewicza z departamentem chirurgii Szpitala Alessandria we Włoszech, z prof. Giuseppe Spinoglio oraz dr. Sławomirem Marecikiem z Naczelnego Luterskiego Szpitala w Stanach Zjednoczonych, zaowocowała wykonaniem pierwszych w Polsce operacji jelita grubego i odbytnicy za pomocą robota chirurgicznego da Vinci. W ramach wdrażania chirurgii robotowej w Polsce, prof. Witkiewicz nawiązał także współpracę z prof. Alexem Mottrie z Belgii w zakresie operacji urologicznych oraz z prof. Janem Perssonem ze Szwecji w obszarze operacji ginekologicznych. Pionierska operacja, przeprowadzona przez profesora Wojciecha Witkiewicza wspólnie z prof. Peterem Stadlerem z Uniwersytetu w Pradze pozwoliła na wszczepienie po raz pierwszy protezy aortalno-dwuudowej. Pierwszymi samodzielnie wykonanymi operacjami, mającymi na celu wdrożyć nową technologię, były: prostatektomia (17.12.2010 r.), cholecystektomia (20.01.2011 r.), epinefrektomia (10.02.2011 r.), splenektomia (07.07.2011 r.) i nefrektomia (03.01.2013 r.) przeprowadzone przez prof. Wojciecha Witkiewicza wraz z zespołem chirurgów z Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego (WSS) we Wrocławiu.

Między grudniem 2010 roku a październikiem 2014 roku w tym Ośrodku wykonano w sumie 177 operacji z użyciem robota da Vinci. W zakresie chirurgii onkologicznej wykonano 40 operacji: 16 przednich resekcji odbytnicy,

17 prawych hemikolektomii (pierwszy tego typu zabieg dnia 17.01.2011 r.), pięć brzuszno-krzyżowych resekcji odbytnicy i dwie lewe hemikolektomie [29–31], pięć resekcji mankietowych żołądka, 13 *gastric by-pass*, jedno wszczepienie protezy rozwidłonej z powodu zespołu Lerichea [32], 59 prostatektomii [33], 12 histerektomii [34–36], sześć adrenalektomii, 14 cholecystektomii, 11 splenektomii, cztery resekcje żołądka, osiem nefrektomii (03.01.2013 r.), jedno pobranie nerki od żywego dawcy (07.01.2013 r.) [37] i cztery inne (trzy plastyki wodonercza i jedna tumorektomia guza nerki).

## Robot da Vinci

Robot da Vinci został skonstruowany przez firmę *Intuitive Surgical* (Stany Zjednoczone). Powstał w celu ułatwienia pracy w wykonywaniu trudnych operacji chirurgicznych. Jego zastosowanie można znaleźć w wielu dziedzinach medycyny w chirurgii ogólnej, chirurgii onkologicznej, ginekologii, urologii, bariatryi, torakochirurgii, transplantologii [38]. Produkt o nazwie „System Chirurgiczny da Vinci” wszedł na rynek europejski w 1999 roku. Roboty te znajdują zastosowanie na całym świecie. W 2012 roku za ich pomocą wykonano około 2000 operacji. Najczęściej przeprowadza się operacje histerektomie oraz prostatektomie [39]. Do początku roku 2013 na całym świecie sprzedano około 2000 sztuk robota. Wersja „Si” systemu z roku 2009 kosztuje około 2 milionów dolarów amerykańskich [40].

System chirurgiczny da Vinci składa się z czterech części. Pierwszą z nich jest konsola chirurgiczna, która jest odpowiedzialna za sterowanie, drugą robot, posiadający trzy lub cztery ramiona (w zależności od wersji). Poza nimi po stronie pacjenta odnajdujemy narzędzia chirurgiczne EndoWrist oraz system wizyjny 3D.

- Konsola chirurgiczna — może się znajdować w różnej odległości od pacjenta. Dzięki niej istnieje możliwość prowadzenia teleoperacji. Osoba przeprowadzająca zabieg widzi obraz ciała pacjenta przez specjalny wizer, który dodatkowo umożliwia wyświetlanie obrazu w technologii 3D. Znajdują się tu również manipulatory, umiejscowione na odpowiedniej wysokości, tak by ułatwiało to prowadzenie zabiegu w sposób podobny do klasycznej operacji.
- Robot chirurgiczny — składa się z trzech lub czterech ramion. To one, a nie operator, mają bezpośredni kontakt z pacjentem. Ramiona są wyposażone w narzędzia chirurgiczne EndoWrist, przy czym dwa z nich odpowiadają prawej i lewej ręce operatora (chirurga), kolejne jest uzupełnieniem, które zwiększa wydajność robota. Czwarte ramię (a w przypadku robotów trójramiennych trzecie) jest odpowiedzialne za sterowanie kamerą endoskopową w ciele pacjenta. Dzięki temu nie jest wymagana na sali obecność asystenta, który jest odpowiedzialny za sterowanie kamerą. Rozmiar ramion jest na tyle mały, że pozwala na zminimalizowanie nacięć powłok pacjenta oraz zmniejsza ryzyko uszkodzenia tkanek.
- Narzędzia EndoWrist — są to narzędzia, których zadaniem jest naśladowanie ruchów dłoni i nadgarstka;

mają siedem stopni swobody. Narzędzia te posiadają odpowiednio dobrane właściwości, ułatwiające pracę operatorowi, między innymi zaciskanie, zakładanie szwów. Ich zaletą jest łatwa wymienialność podczas zabiegów. Ponadto układ ten eliminuje niepożądane drżenie rąk operatora, które może wystąpić podczas klasycznej operacji. Narzędziami steruje wyżej wymieniona konsola chirurgiczna.

- System wizyjny 3D — umożliwia oglądanie obrazu ciała pacjenta w trójwymiarze, dzięki obrazom nakładanym na siebie z dwóch kamer. Obraz ten jest odpowiednio optymalizowany, odpowiednie filtry usuwają szumy i zakłócenia [41].

## Robin Heart

Również w Polsce trwają prace nad projektami robotów medycznych. Robin Heart to rodzina robotów, których początek jest datowany na 2000 rok, powstających w Pracowni Biocybernetyki i Fundacji Rozwoju Kardiologii w Zabrze. Kierownikiem projektu jest Zbigniew Nawrat. Do współpracy przyłączyły się zespoły z Politechniki Łódzkiej oraz Warszawskiej. System Robin Heart jest przeznaczony do przeprowadzania zabiegów kardiologicznych. Przedmiotem projektu robota było wykonanie oryginalnego, wielozadaniowego robota, który umożliwi sterującym lekarzom wspomaganie lub wykonanie operacji na sercu oraz modyfikację układu sercowo-naczyniowego. Podobnie jak u robota da Vinci, jego zaletami są wysoka niezawodność, stabilne pole operacyjne, możliwość bezpośredniej kontroli przez lekarza i wysoki poziom precyzji [42]. Znane są trzy modele robota: Robin Heart 0, Robin Heart 1 i Robin Heart 2. Poszczególne urządzenia różnią się między sobą między innymi odmiennym sterowaniem i mocowaniem. W 2007 roku powstał najmłodszy model z tej rodziny robotów — Robin Heart Vision. Natomiast w ramach projektu Robin Heart System specjaliści pracują nad stworzeniem zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych. Opracowano także program Robin Heart Expert, pozwalający korzystać z porad podczas operacji. Program ten jest bazą danych, która posiada w swojej pamięci wszystkie dane pacjenta (zarówno badania obrazowe, jak i dane z przygotowania pacjenta do operacji) [1].

## Różnice między klasyczną laparoskopią a zastosowaniem robota medycznego

Pierwszą, a zarazem bardzo ważną różnicą, jest odległość chirurga od pacjenta. Lekarz znajdujący się przy konsoli może być oddalony od stołu operacyjnego. Przy pacjencie stoi zazwyczaj instrumentariuszka i asysta. W razie problemów w dowolnej chwili istnieje możliwość przejęcia kontroli nad poszczególnymi trokami. Kolejną różnicą jest możliwość wykonywania ruchu końcówką narzędzia w siedmiu płaszczyznach. W laparoskopii narzędzia są sztywne. Ruch końcówki robota przypomina ruch nadgarstka. Ich następną przewagą jest możliwość

obrotu o 540 stopni w osi długiej narzędzia [10, 43]. Roboty posiadają także specjalnie dostosowaną konsolę, tak by operator miał skierowany wzrok w stronę, gdzie powinny się znajdować jego dłonie. Obraz, jaki widzi operator, jest trójwymiarowy w 10-krotnym powiększeniu. Podczas operacji klasycznych chirurg wraz z wydłużeniem zabiegu męczy się. Jest to szczególnie ważne przy kilkugodzinnych operacjach, gdy wraz z czasem z powodu utraty sił maleje jego koncentracja i precyzja wykonywania ruchów. Przy zastosowaniu robota komfort operacji pozwala na precyzyjne jej przeprowadzenie i znacznie mniejsze zmęczenie, co przy zniesieniu drżenia rąk poprawia znacznie precyzję operacji.

## Przyszłość robotyki w medycynie

Robotyka to nie tylko „roboty medyczne” ułatwiające pracę lekarzom różnych specjalności. Coraz głośniejsze jest w ostatnich latach na temat nanomedycyny, która wykorzystuje nowe osiągnięcia robotów. Co prawda ich mechanizm działania jest odmienny od wyżej wymienionych przykładów, jednak ich przyszłość w medycynie niewątpliwie ogrywa znaczną rolę. Czym tak naprawdę jest nanomedycyna?

Nanomedycyna to interdyscyplinarna dziedzina nauki zajmująca się zastosowaniem nanotechnologii w medycynie. Słowo „nano” wywodzi się z języka greckiego (*nanos*) i oznacza „karzeł”. Już z samej nazwy możemy wywnioskować że nanomedycyna to medycyna nanoskali. W jej skład zaliczają się takie dziedziny, jak nanodiagnostyka, nanofarmakologia, nanochirurgia itp. [44]. Obecnie wiadomo, iż po raz pierwszy udało się zastosować nanoroboty w żywych ludzkich komórkach. Ich zaletą jest możliwość sterowania z zewnątrz, dzięki zastosowaniu fal ultradźwiękowych, dających napęd, i sił magnetycznych, pozwalających na sterowanie. Tak skonstruowane nanoroboty mogą poruszać się w żywej komórce, jednocześnie jej nie uszkadzając. Urządzenia są wykonane ze złota i rutenu, szerokość wynosi 300 nanometrów, a długość trzy mikrometry. Roboty mogą poruszać się w przód i w tył, a przy użyciu magnesów można powiększyć ten zakres. Badacze pod kierownictwem prof. Tomma Mallouka, biochemika z Uniwersytetu Stanowego w Pensylwanii, zapoczątkowali ich badanie w komórkach raka szyjki macicy [45]. Pierwszym etapem tej technologii jest umożliwienie transportu substancji w określone miejsca komórki. Dodatkowo pozwoli to na lepszą diagnostykę, gdyż nanoroboty dostarczą informacji na temat sytuacji w komórce, do której dążą. Badacze odkryli również, że stosując odpowiednią moc fali ultradźwiękowej, roboty mogą niszczyć błony komórkowe, co umożliwiłoby niszczenie poszczególnych komórek bez wpływu na pozostałe.

## Podsumowanie

Robotyka w medycynie ma wielki potencjał. W miarę postępu technologicznego powstają coraz to nowsze

projekty systemów robotów medycznych. Ich szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny pozwala na precyzyjne wykonywanie operacji z mniejszym ryzykiem błędu. Zdecydowanym minusem jest wysoka cena oraz brak refundacji zabiegów wykonywanych z ich użyciem w Polsce [46]. Należy zawsze dokładnie przeanalizować wszystkie korzyści i zastrzeżenia stosowania robotów w konkretnych przypadkach. Możemy się jednak spodziewać, że w kolejnych latach ich zastosowanie będzie jeszcze większe. Nanomedycyna również niesie nadzieje na rozszerzenie użycia robotów i z pewnością wraz z jej rozwojem dołączą kolejne możliwości wykorzystania dla lekarzy.

## Piśmiennictwo

1. <http://robinheart.pl/index.php/pl/o-robotach>.
2. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Robot\\_medyczny](http://pl.wikipedia.org/wiki/Robot_medyczny).
3. Glaser H.A., Rossbach S. *The Artificial Human*. Peter Lang, Frankfurt/M., Bern, New York 2011.
4. Moran M.E. The da Vinci robot. *J Endourol*. 2006; 20: 986–990.
5. Roberts A. "Introduction", to *RUR & War with the Newts*. London, Gollancz 2011.
6. Scott T. All Hail Our Robot Overlords! Sci-Fi's Best Bots. *Wired*, 2011-01-25. [dostęp 2011-01-25].
7. Kwoh Y.S., Hou J., Jonckheere E.A. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988; 35: 153–160.
8. Lanfranco A.R., Castellanos A.E., Desai J.P. Robotic surgery. *Ann Surg*. 2004; 239: 14–21.
9. Witkiewicz W., Jastrzębski J., Sokołowski J. i wsp. Chirurgia robotowa — historia rozwoju. *Przegląd Urologiczny* 2011; 6: 66–73.
10. Hibner M., Marianowski P., Szymusik I., Wielgoś M. Zastosowanie robotów w chirurgii ginekologicznej. *Ginekol Pol*. 2012; 83: 934–938.
11. Wolfram M., Bräutigam R., Engl T. Robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy: the Frankfurt technique. *World J Urol*. 2003; 21: 128–132.
12. David I.L. Robotic prostatectomy: what we have learned and where we are going. *Yonsei Med J*. 2009; 50: 177–181.
13. Menon M., Tewari A., Peabody J.O. i wsp. Vattikuti Institute prostatectomy, a technique of robotic radical prostatectomy for management of localized carcinoma of the prostate: experience of over 1100 cases. *Urol Clin North Am*. 2004; 31: 701–717.
14. Kaul S., Menon M. Robotics in laparoscopic urology. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2005; 14: 62–70.
15. Melvin W.S., Needleman B.J., Krause K.R. i wsp. Robotic resection of pancreatic neuroendocrine tumor. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2003; 13: 33–36.
16. Ahmed K., Khan M.S., Vats A. i wsp. Current status of robotic assisted pelvic surgery and future developments. *Int J Surg*. 2009; 7: 431–440.
17. Talamini M.A., Chapman S., Horgan S., Melvin W.S. A prospective analysis of 211 robotic-assisted surgical procedures. *Surg Endosc*. 2003; 17: 1521–1524.
18. Melvin W.S., Needleman B.J., Krause K.R. i wsp. Computer-enhanced vs. standard laparoscopic antireflux surgery. *J Gastrointest Surg*. 2002; 6: 11–15.
19. Bush B., Nifong W., Chitwood R.W. Robotics in cardiac surgery: past, present, and future. *Rambam Maimonides Med J*. 2013; 4: e0017.
20. Carpentier A., Loumet D., Aupecle B. i wsp. Computer assisted open-heart surgery. First case operated on with success. *CR Acad Sci II*. 1998; 321: 437–442.
21. Mihaljevic T., Jarrett C.M., Gillinov M.A. Robotic repair of posterior mitral valve prolapse versus conventional approaches: Potential realized. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011; 141: 72–80.
22. Woo J.Y., Nacke E.A. Robotic minimally invasive mitral valve reconstruction yields less blood product transfusion and shorter length of stay. *Surgery* 2006; 140: 263–267.
23. Kappert U., Schneider J., Cichon R. i wsp. Closed chest totally endoscopic coronary artery bypass surgery: fantasy or reality? *Curr Cardiol Rep*. 2001; 2: 558–563.
24. Kaczmarczyk R. Postępy w neurochirurgii w 2005 roku. *Med Prakt Chir*. 2006; 1: 122–124.
25. Wörn H., Aschke M., Kahrs L.A. New augmented reality and robotic based methods for head-surgery. *Int J Med Robot*. 2005; 1: 49–56.
26. Worn H. Computer and robot aided head surgery. *Acta Neurochirurgica* 2006; 98 (supl.): 51–61.
27. Rahimy E., Wilson J., Tsao T.C. i wsp. Robot-assisted intraocular surgery: development of the IRISS and feasibility studies in an animal model. *Eye* 2013; 27: 972–978.
28. Pitcher J.D., Wilson J.T., Tsao T.C. i wsp. Robotic eye surgery: past, present, and future. *J Comput Sci Syst Biol*. 2012; S3: 001. doi: 10.4172/jcsb.S3-001.
29. Witkiewicz W., Zawadzki M., Rząca M. i wsp. Robot-assisted right colectomy: surgical technique and review of the literature. *Videosurgery and other mini-invasive techniques* 2013; 8: 253–257.
30. Witkiewicz W., Spinoglio G., Marecik S., Rząca M., Turek J. Pierwsze polskie doświadczenia w operacjach guzów nowotworowych jelita grubego z asystą robota chirurgicznego da Vinci. Analiza porównawcza kosztów. *Pol Przegl Chir*. 2011; 83 (supl. 1): s/8 poz O.100.
31. Witkiewicz W., Rząca M., Zawadzki M., Czarnecki R., Turek J., Obuszko Z. Pierwsze polskie doświadczenia z robotem da Vinci w chirurgii raka jelita grubego. *Nowotwory* 2012; 62 (supl. 2): 18–19.
32. Witkiewicz W., Stadler P., Turek J., Banaszek J., Iwanowski W. Doświadczenia zespołu chirurgii naczyniowej z robotem da Vinci w pierwszej w Polsce operacji wszczepienia protezy aortalno-dwuudowej. *Pol Przegl Chir*. 2011; 83 (supl. 1): 24.
33. Sokołowski J., Fiutowski M., Witkiewicz W. Wyniki pierwszych w Polsce operacji gruczolaka krokowego z użyciem robota chirurgicznego da Vinci. *Nowotwory* 2012; 62 (supl. 2): 18.
34. Witkiewicz W., Pająk J., Malinowski J., Radecki Ł., Persson J. Przydatność robota da Vinci w operacjach z zakresu ginekologii onkologicznej — wstępne doświadczenia. *Nowotwory* 2012; 62 (supl. 2): 17–18.
35. Pająk J., Witkiewicz W., Persson J., Radecki Ł. Pierwsze w Polsce zabiegi ginekologiczne w asyście robota da Vinci. *Współcz Onkol*. 2012; 16 (supl. 1): s88–90.
36. Witkiewicz W., Rząca M., Zawadzki M., Czarnecki R., Turek J. Resekcje wielonarządowe w miednicy mniejszej z asystą robota da Vinci. *Nowotwory* 2012; 62 (supl. 2): 19.
37. Witkiewicz W., Turek J., Zawadzki M., Gawora P. Oczekiwania, granice i możliwości chirurgii małoinwazyjnej z zastosowaniem robota chirurgicznego da Vinci. W: Dwyer A. (red.). *Transplantologia: oczekiwania, możliwości, granice*. Szczecin 2012.
38. Robots as surgical enablers, Minimally invasive techniques get boost from machine, *Market Watch*, 2005.02.03.
39. Surgical robots: The kindness of strangers. *The Economist* 2012.01.18.

40. The Slow Rise of the Robot Surgeon. MIT Technology Review 2010.03.24.
41. [http://pl.wikipedia.org/wiki/System\\_chirurgiczny\\_da\\_Vinci](http://pl.wikipedia.org/wiki/System_chirurgiczny_da_Vinci).
42. Nawrat Z., Mianowski K., Podsedkowski L. i wsp. Robin Heart — mature examination. Materials of Conference AUTOMATION, Warszawa 2004.
43. Smith A., Krivak T., Scott E. Dual-console robotic surgery compared to laparoscopic surgery with respect to surgical outcomes in a gynecologic oncology fellowship program. Gynecol Oncol. 2012; 126: 432–436.
44. Wojnicz R. Nanomedycyna jako fundament medycyny personalizowanej. Kardiol Pol. 2011; 69: 1107–1108.
45. <http://www.wprost.pl/ar/440821/Roboty-naprawcze-zalegna-sie-w-twoich-zylach-i-mozgu/>
46. Witkiewicz W., Gawora P. Dlaczego robot chirurgiczny da Vinci jest potrzebny dla rozwoju polskiej medycyny — pierwsze polskie doświadczenia z zakresu chirurgii robotowej w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu, w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym. Kardiochir Torako-chir Pol. 2011; 8: 383–386.

**Adres do korespondencji:**

prof. dr hab. n. med. Zygmunt Zdrojewicz  
Katedra i Klinika Endokrynologii Diabetologii i Leczenia Izotopami  
Uniwersytet Medyczny  
ul. Pasteura 4, 50–367 Wrocław  
e-mail: [zygmunt@zdrojewicz.wroc.pl](mailto:zygmunt@zdrojewicz.wroc.pl)

Praca wpłynęła do Redakcji: 17.12.2014 r.