

## Robot Robin Heart 2010 – raport z prac badawczych

The Robin Heart robot 2010 – research report

Zbigniew Nawrat

Pracownia Biocybernetyki, Fundacja Rozwoju Kardiologii im. Profesora Zbigniewa Religi w Zabrze oraz Katedra Kardiologii i Transplantologii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Zabrze



Kardiologia i Torakochirurgia Polska 2011; 8 (1): 126–135

### Streszczenie

Prezentowana praca przedstawia aktualne prace prowadzone w zabrzańskim zespole związane z projektem robota chirurgicznego Robin Heart. Projekt wkroczył w fazę eksperymentu na zwierzętach. W styczniu 2009 r. wykonano pierwsze eksperymentalne operacje robotami systemu Robin Heart na świnich: usunięcia woreczka żółciowego oraz elementy operacji naprawczych zastawki mitralnej i trójdzielnej. Planowany zabieg pomostowania naczyń wieńcowych (ang. *totally endoscopic coronary artery bypass* – TECAB) przełożono na inny termin. Podjęto decyzję o budowie nowego robota. W maju 2010 r. przeprowadzono pierwszy eksperyment specjalnie zaprojektowanym robotem Robin Heart mc<sup>2</sup>. Cel eksperymentów został osiągnięty – nowa konstrukcja robota została zaakceptowana przez zespół chirurgiczny.

**Słowa kluczowe:** roboty chirurgiczne, narzędzia chirurgiczne, kardiologia, eksperymenty na zwierzętach, teleoperacje, planowanie operacji, technologie przestrzeni wirtualnej.

### Abstract

The presented work presents the current works led in Zabrze's team connected with project of Robin Heart surgical robot. Two operations on pigs: cholecystectomy and the elements of repair operation of mitral and tricuspid valve were carried out in January 2009. TECAB – the operation the coronary bypass on beating heart – have been passed to another date. It was decided to build a new robot. In May 2010 conducted the first experiment, a specially designed robot Robin Heart mc<sup>2</sup>. Purpose of the experiments has been achieved: new construction work has been accepted by the surgical team.

**Key words:** surgical robots, surgical tools, cardiac surgery, in vivo experiments, teleoperation, surgery planning, virtual reality technology.

### Robot medyczny

**Robot** to jedno z niewielu słów słowiańskiego pochodzenia, które weszły do światowego języka współczesnej nauki i techniki. W 1986 r. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju OECD (ang. *Organization for Economic Cooperation and Development* – OECD) znalazła aż 400 możliwych zastosowań robotów w medycynie i służbie zdrowia.

Roboty medyczne dzielą się na:

- roboty chirurgiczne (narzędzia zwiększające jakość, precyzję interwencji chirurgicznej i często zmniejszające inwazyjność operacji);
- roboty rehabilitacyjne (maszyny, które zwiększają jakość życia ludzi starszych, zniepełniających, z niewydolnymi narządami ruchu – zwiększają ich samodzielność – oraz roboty służące do terapii, treningu, rehabilitacji poprzez kontrolowany ruch rehabilitowanych narządów ruchu);
- bioroboty (roboty naśladujące ludzi lub zwierzęta, wyko-

rzystywane dla celów poznawczych – neurofizjologii, patologii mózgu czy samoorganizacji społecznej – a także zrobotyzowane elementy zastępcze organizmu człowieka).

Można wymienić następujące typy zrobotyzowanych systemów, które są stosowane w chirurgii:

1. Roboty zastępujące asystenta w czasie operacji. Przy ich pomocy chirurg może samodzielnie sterować położeniem kamery endoskopowej.
2. Roboty chirurgiczne. Obecnie stosowane są klinicznie amerykańskie roboty da Vinci (produkowane przez zjednoczone Intuitive Surgical). W Polsce powstała rodzina prototypowych robotów o nazwie Robin Heart.
3. Roboty nawigacyjne (bierne). Służą do dokładnego pozycjonowania i utrzymują prawidłowy tor narzędzia. Stosowane są głównie w procedurach neurochirurgicznych.
4. Roboty pracujące jako narzędzia wykonawcze w systemie odwzorowania trajektorii określone podczas planowania przedoperacyjnego (nawigacyjne czynne) stosowane do

**Adres do korespondencji:** Zbigniew Nawrat, Fundacja Rozwoju Kardiologii, ul. Wolności 345 a, Zabrze, e-mail: nawrat@frk.pl

operacji radiochirurgicznych, neurochirurgicznych oraz operacji ortopedycznych.

5. Roboty biochirurgiczne. Powstają roboty do manipulacji komórkowej. W wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania nad manipulacją wybranych struktur i elementów wewnątrz komórek.

Spośród komercyjnie dostępnych systemów robotów medycznych należy wymienić:

- roboty nawigacyjne działające w obszarze neurochirurgii, ortopedii i chirurgii twarzy: StealthStation (Medtronic), VectorVision (BrainLab), Surgetics (Praxim), Navigation System (Stryker), OrthoPilot (Aesculap), Galileo (PI Systems), Insta Track (GEMS), Acustra (Z-Cat);
- roboty neurochirurgiczne lub sterujące położeniem mikroskopu: Surgiscope (ISIS) i Neuromate (Schaerer-Mayfield);
- roboty chirurgii ortopedycznej: Acrobot (Acrobot Ltd) MARS/Smart Assist (Mazor Surgical Technologies), Brigit (MedTech/Zimmer);
- roboty dla miniinwazyjnej chirurgii tkanek miękkich – da Vinci (Intuitive Surgical);
- roboty służące do sterowania położeniem kamery toru wizyjnego: EndoAsist (Armstrong Healthcare), Lapman (Medsys);
- roboty do radioterapii; Cyberknife (Accuray);
- roboty dla telechirurgii: Othello (LVR/Robosoft).

**Teleoperator** (telemanipulator) to robot zdalnie sterowany przez operatora (ryc. 1.). W związku ze specyfiką operacji chirurgicznej i bezpieczeństwa pacjenta stosowane obecnie roboty medyczne są głównie teleoperatorami, pozostawiając wszystkie decyzje dotyczące ruchu i działania efektora lekarzowi.

Telemanipulator chirurgiczny jest złożony z trzech części: konsoli sterowniczej z manetkami do zadawania ruchu i systemem endowizyjnym, systemu sterowania oraz manipulatora, tzn. ramion robota z narzędziami roboczymi. Da Vinci to jedyny obecnie stosowany klinicznie robot do operowania tkanek miękkich. Chirurg ma do dyspozycji szereg narzędzi o 6 stopniach swobody. Rynek rozwija się dynamicznie. W 2004 r. było 286 robotów da Vinci, ale w 2009 r. – już prawie 1400. W 2008 r. za pomocą 867 robotów (część jest wykorzystywanych w pracach badawczych poza klinikami)

wykonano 130 tys. operacji, w tym 55 tys. operacji gruczołu krokowego. W 2009 r. wykonano w przybliżeniu 205 tys. procedur robotami firmy Intuitive Surgical (wzrost o 51% w stosunku do poprzedniego roku). W większości były to operacje urologiczne. Do dzisiaj sprzedano ok. 1500 robotów da Vinci, w tym 9 robotów do Czech, 8 do Rosji, 8 – do Rumunii, 7 – do Turcji, 1 – do Bułgarii [2]. W Polsce pod koniec 2010 r. pojawił się we Wrocławiu pierwszy robot da Vinci. Wersja z dwiema konsolami da Vinci S pozwala na prowadzenie pełnego zakresu aktywności chirurgicznej i edukacyjnej. Polska jest jednym z niewielu krajów na świecie, które dysponują osiągnięciami i kadrą zdolną do wprowadzenia na rynek własnej konstrukcji robota chirurgicznego.

Zakres aplikacji tych robotów obejmuje takie zabiegi, jak: cholecysektomia, splenektomia, resekcja woreczka żółciowego, operacje urologiczne (gruczołu krokowego), operacje kardiologiczne i ginekologiczne. Do dzisiaj na świecie trwa poszukiwanie optymalnego obszaru stosowania robotów chirurgicznych. Robot opracowany z myślą o wykonywaniu operacji na sercu obecnie najbardziej popularny jest w aplikacjach urologicznych.

Fundacja Rozwoju Kardiologii im. profesora Zbigniewa Religi (FRK) była inicjatorem przedsięwzięcia budowy w Polsce robotów chirurgicznych i do dzisiaj odgrywa rolę pioniera w tym zakresie. Jest również miejscem promocji wiedzy, wymiany poglądów, doświadczeń oraz praktycznej nauki stosowania opracowywanych robotów i narzędzi mechatronicznych. Gdy rozpoczynaliśmy, nikt w Polsce tą dziedziną się nie zajmował. Dzisiaj marka Robin Heart jest znana na świecie i wielu podziela nadzieje zabrzańskiego zespołu, że polski robot trafi wkrótce do klinik.

### Robin Heart

Rodzina manipulatorów Robin Heart powstała w FRK w Zabrzu we współpracy ze specjalistami z kilku ośrodków akademickich i przedsiębiorstw. Projekty były finansowane z kilku grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz funduszy własnych FRK oraz sponsorów. W prace rozwojowe nad polskim robotem wprowadzono wielu młodych naukowców przygotowujących opracowania, projek-



Ryc. 1. Roboty da Vinci i Robin Heart podczas prezentacji w Fundacji Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrzu

ty, prace dyplomowe, magisterskie i doktoranckie. Szerokie zainteresowanie robotem Robin Heart, stymulowane również poprzez organizowane cyklicznie konferencje w Zabrzu oraz liczne publikacje, spowodowało gwałtowny rozwój nowej dziedziny – robotyki medycznej – w wielu ośrodkach akademickich w Polsce.

Założono, że robot będzie miał strukturę segmentową, umożliwiającą zestawienie sprzętu dla różnych typów operacji (głównie na sercu i układzie naczyniowym). W szczególności samodzielny człon stanowi ramię endoskopowego toru wizyjnego o szerokim zasięgu stosowania. W ramach rodziny polskich robotów Robin Heart (ryc. 2.) powstały w pierwszej fazie trzy modele: **Robin Heart 0**, **Robin Heart 1** i **Robin Heart 2**, różniące się m.in. koncepcją sterowania i mocowania. W latach 2007–2008 powstał służący do sterowania położeniem endoskopowego toru wizyjnego robot **Robin Heart Vision**. Na Politechnice Łódzkiej powstała wersja **Robin Heart 3**, natomiast w 2010 r. powstał robot **Robin Heart mc<sup>2</sup>**. To obecnie jedyny robot, który pozwala na operowanie w małej przestrzeni przez blisko umieszczone porty (przecięcia powłok pacjenta) 3 narzędzi. Stanowi to fundamentalne rozwiązanie dla takich operacji, jak pomostowanie naczyń wieńcowych czy potencjalnie wielu zabiegów wykonywanych przez naturalne otwory w ciele pacjenta (tzw. operacje NOTES, np. przez pępek chorego). Obecnie prowadzone są testy, prace nad dopracowaniem ich technologii i optymalizacją, tak by z prototypów powstała rodzina produktów do stosowania klinicznego.

Robin Heart jest manipulatorem kopiującym, telemanipulatorem, który składa się z 2 lub więcej ramion narzędziowych i 1 trzymającego kamerę oraz układu zadawania ruchu wraz z układem sterowania. Każde ramię robota ma 3 stopnie swobody (2 obroty i 1 przesuw). Sterowanie robotem odbywa się w ergonomicznej konsoli. Chirurg poprzez użycie przycisków (pedały jako sprzęgła oraz zadajniki uchu w dłoni) uruchamia funkcje manipulacyjne i wykonawcze narzędzi, obserwując dwu- lub trójwymiarowy obraz (może być powiększony) pola operacji na monitorze. Operator wykonuje różne zadania, sterując ruchem końcówki roboczej przymocowanego do ramienia narzędzia pracującego jako chwytak, nożyczki lub nóż koagulujący. Struktura kinematyczna manipulatora składa się z ramienia (pozycjonowanie) oraz kiści (orientacja końcówki). Narzędzie wprowadzane jest do ciała pacjenta przez otwór (troakar, port) o średnicy 10–12 mm. Konstrukcja robota Robin Heart realizuje założenie, by robot w sposób mechaniczny zachowywał stały punkt – miejsce przecięcia powłok ciała pacjenta. Stałopunktowość robota jest osiągnięta kinematycznie poprzez konstrukcję podwójnego czworoboku przegubowego oraz część napędową kiści robota. Sposób przeniesienia napędu do stopni swobody końcówki roboczej narzędzia uzyskano poprzez napęd ciągnowy (Robin Heart 0), popychaczowy (Robin Heart Uni System 0) lub mieszany (rozwiązana opcja w kolejnych modelach Robin Heart). Kończymki robocze telemanipulatorów chirurgicznych mają 3 stopnie swobody służące do orientacji w przestrzeni, 4. odpowiada zwykle za otwieranie i zamykanie szczęk. Narzędzia modeli

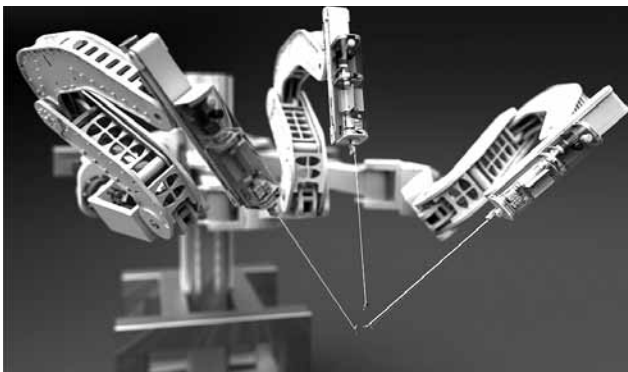
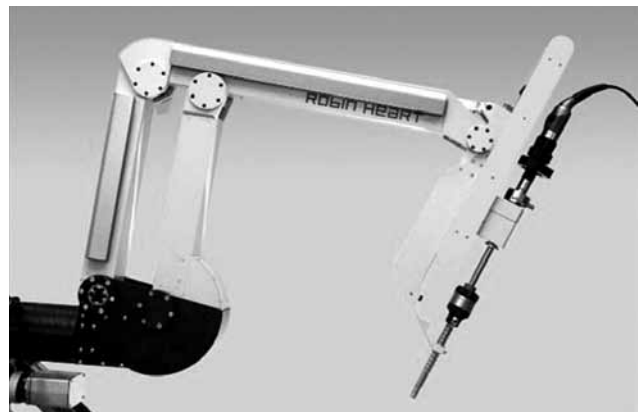
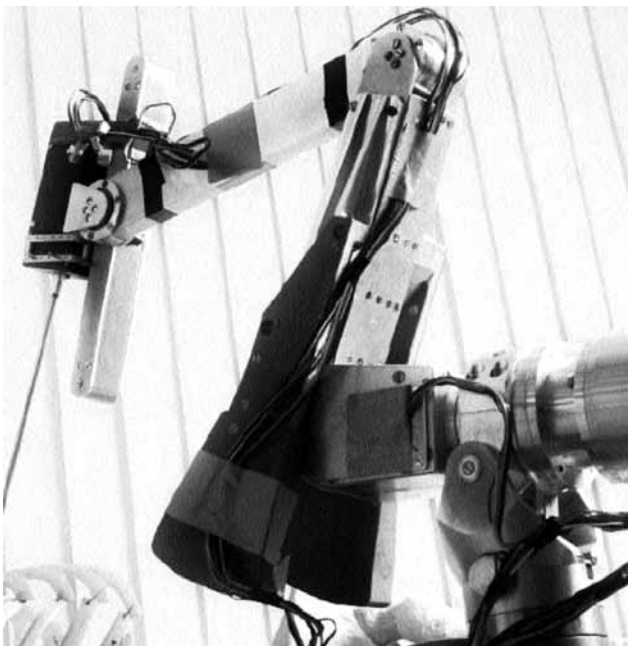
Robin Heart 1 i 3 mają 5. stopień swobody, który zwiększa możliwości manewrowe. System sterowania i nadzoru umożliwia przeskalowanie ruchu, usuwanie drżenia dłoni operatora oraz zawiera elementy systemu bezpieczeństwa robota.

Polska rodzina robotów Robin Heart liczy już prawie 10 modeli i prototypów. Zgodnie z planem pierwszym robotem, który trafi na sale operacyjne, będzie robot toru endoskopowego. Robin Heart Vision, telemanipulator przeznaczony do pozycjonowania endoskopu w trakcie zabiegów chirurgicznych (możliwość zamocowania endoskopów wielu producentów), ma następujące parametry: ramię o kinematyce sferycznej o 4 stopniach swobody i zakresach przemieszczeń 120°, 160°, 150 mm, oraz 340°; rozdzielczość pozycjonowania końcówki ramienia nie gorsza niż 0,1 mm. Opracowany i zaimplementowany układ sterowania realizuje funkcję mapowania ruchów operatora na ruch ramienia wykonawczego z opcją skalowania ruchu i zawiera elementy systemu bezpieczeństwa robota.

Sterowanie robotem odbywa się w ergonomicznej konsoli o nazwie Robin Heart Shell imitującej pracę chirurga wewnątrz organizmu pacjenta. Jednym z podstawowych założeń pracy zabrzańskiego zespołu jest przyjęcie, że naturalna konkurencyjność robotów wobec klasycznych i laparoskopowych narzędzi jest związana z zastosowaniem narzędzi, które są wyposażone w funkcje automatyczne (co do sposobu działania oraz sekwencji ruchu). To założenie powoduje, że system zadawania i kontroli ruchu jest realizowany za pomocą układu przycisków, mikrozdójstyków umocowanych w specjalnych uchwytach, których orientacja w przestrzeni związana jest z orientacją końcówki narzędzia wewnątrz ciała pacjenta. Odpowiednie oprogramowanie umożliwia zakodowanie określonych czynności i zadań pod określone przyciski zadajnika ruchu. Wykonano nowatorski model narzędzia wielofunkcyjnego, tzw. scyzoryk, który pozwala na przełączenie i wymianę rodzaju końcówki roboczej bez wyjmowania narzędzia. W pełni oryginalny jest również pomysł wprowadzania mechatronicznych narzędzi (Robin Heart Uni System), które można stosować jako umocowane na ramieniu robota (sterowane z konsoli robota), a następnie, w odpowiedniej fazie operacji, mocować w specjalnym uchwycie (orientacja i sterowanie manualne). Testowane w eksperymencie na zwierzętach narzędzie Robin Heart Uni System 0 jest wyposażone w ten sposób sterowania jak rączka manipulatora w konsoli.

### Wirtualna sala operacyjna

Planowanie operacji poprzedza każdy zabieg. Odpowiednie zaplanowanie ustawienia robota przy stole operacyjnym, właściwa lokalizacja otworów w powłokach ciała pacjenta, przez które zostaną wsunięte narzędzia o określonej funkcjonalności i przestrzeni roboczej, stanowią o szansie wykonania bezpiecznego zabiegu chirurgicznego. Przedmiotem planowania jest również sekwencja ruchów robota (choreografia) oraz dobór właściwych narzędzi. **Wirtualna chirurgia** stanowi narzędzie do zrozumiałej wizualizacji zaawansowanej procedury chirurgicznej. Wyko-

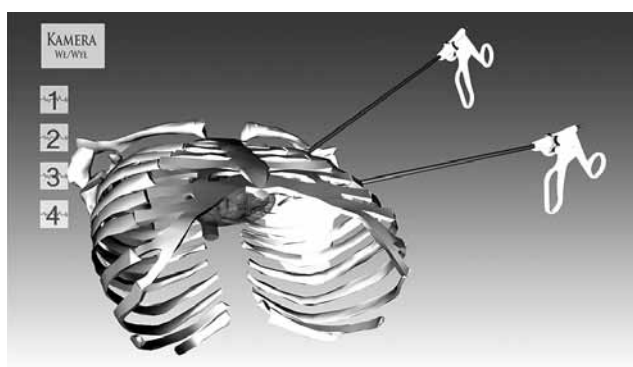


Ryc. 2. Rodzina robotów Robin Heart. Od lewej, od góry: Robin Herat 0, Robin Heart 1, Robin Heart 2, Robin Heart Vision, narzędzie Robin Heart 3, Robin Heart mc<sup>2</sup>, konsola Robin Heart Shell wraz z robotami Robin Heart Vision i Robin Heart 1

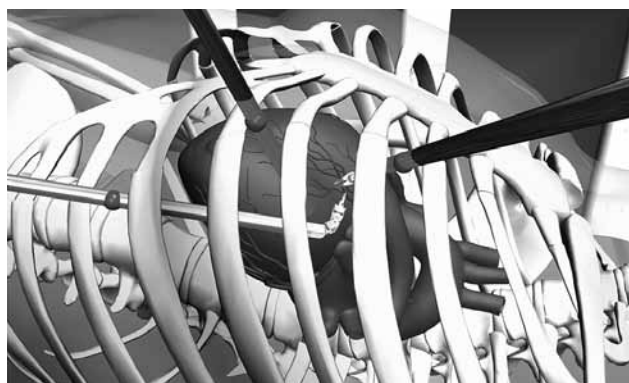
rzystując technologią wirtualnej rzeczywistości, wykonano w FRK interaktywny, w pełni sterowany przez użytkownika model sali operacyjnej, wyposażonej w telemanipulatory chirurgiczne Robin Heart. Wykonano także stanowisko treningowe dla klasycznej laparoskopii (ryc. 3A.). Model pozwala na szeroko rozumianą symulację procedur chirurgicznych w czasie rzeczywistym, dzięki czemu może służyć jako zaawansowane i tanie stanowisko szkoleniowe przyszłych lekarzy chirurgów. Ogniwem łączącym projektowanie konstrukcji robota, a w szczególności jego narzędzi wykonawczych, jest określenie przestrzeni roboczej danego narzędzia i bezpośredni transfer tej swoistej miary funkcjonalności narzędzia do wykonania określonego elementu

zabiegu z danego umiejscowienia portu (miejsca przecięcia powłok pacjenta) narzędzia.

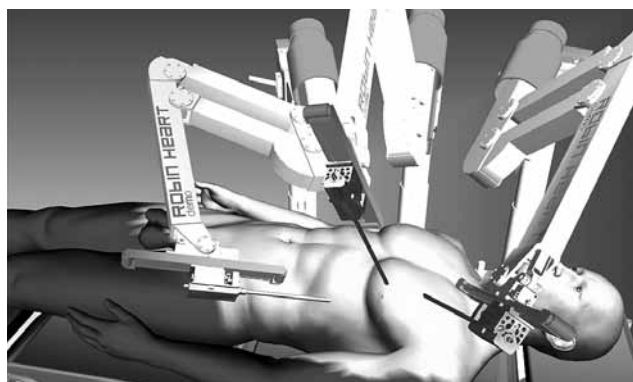
Możliwość operowania w przestrzeni wirtualnego ciała pacjenta pozwala chirurgowi na stwierdzenie, czy dane narzędzie o określonych wymiarach geometrycznych o określonych stopniach swobody dysponuje właściwym zasięgiem do wykonania zaplanowanych czynności. Modelowanie w przestrzeni wirtualnej stanowi znakomity sposób, czytelny język współpracy pomiędzy lekarzami a konstruktorami, chirurgiem i jego uczniem. Na rycinie 4. zaprezentowano przestrzeń manipulacyjną dla narzędzi, których ruchliwość różni się o jeden stopień swobody, zakładając ustawienie narzędzia w środkowym położeniu



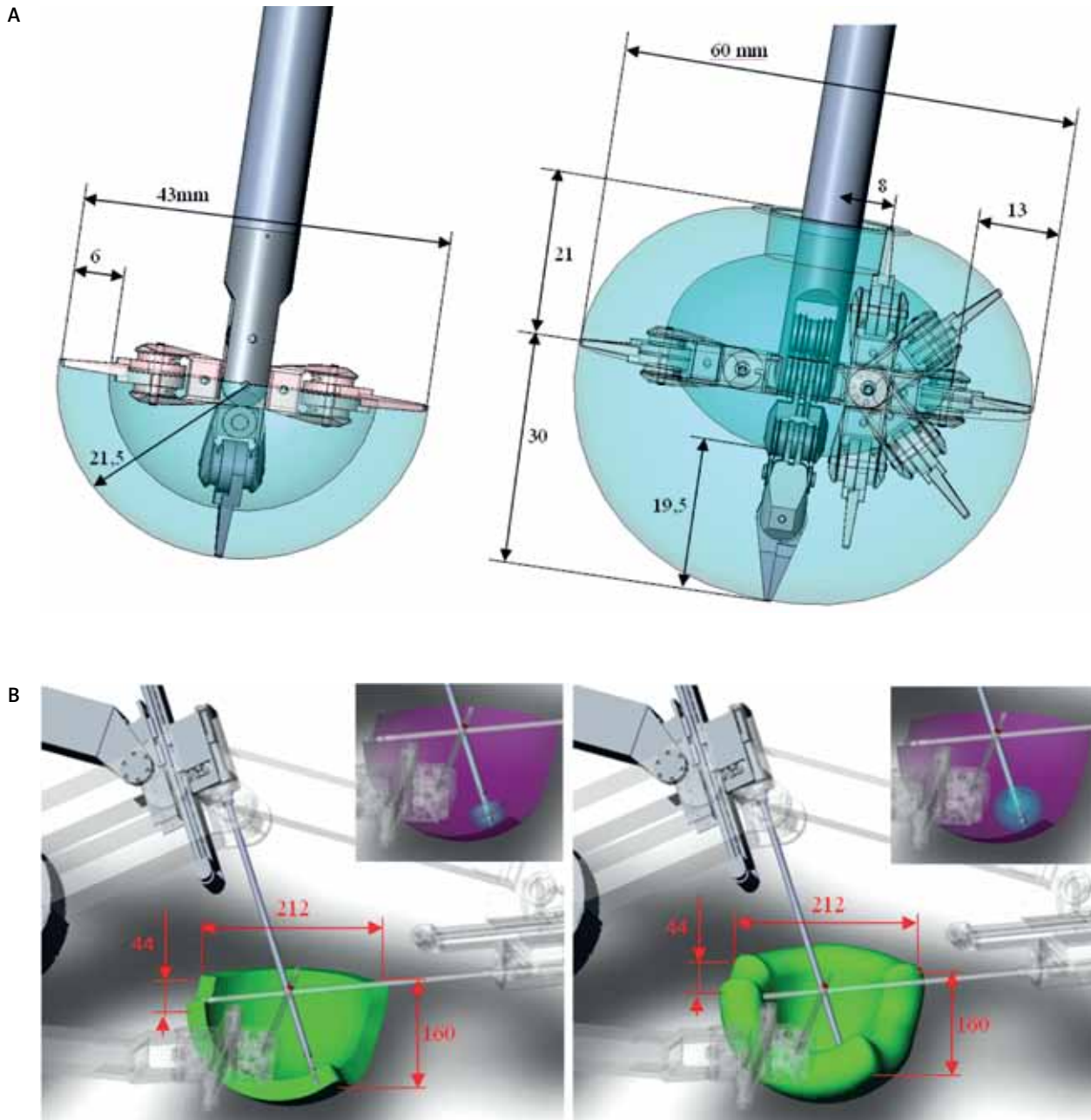
Ryc. 3A. Porównanie w wirtualnej sali operacyjnej wykonanej w Fundacji Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi operacji laparoskopowej i zrobotyzowanej (Robin Heart)



Ryc. 3B. Model rzeczywisty i wirtualny operacji na sercu robotem Robin Heart



Ryc. 3C. Wirtualna i rzeczywista sala z robotami Robin Heart



Ryc. 4. Przestrzeń pracy dla narzędzia Robin Heart z dwiema (A) i trzema osiami obrotowymi (B) [3]

mechanizmu szybkozłączki (ruch cylindrycznego trzonu narzędzia w głąb ciała pacjenta).

### Testy

Proces badawczy i wdrożenia zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych obejmuje:

- eksperymenty laboratoryjne na stanowiskach komputerowych (wirtualna sala operacyjna);
- laboratoryjne testy funkcjonalne i techniczne robotów;
- laboratoryjne eksperymenty i trening na modelach zawierających tkanki naturalne (np. serca wieprzowe);
- eksperymenty na żywych zwierzętach.

Wyniki prac laboratoryjnych i technicznych dowodzą właściwego poziomu precyzji i skuteczności działania opracowywanych robotów [4–8]. Warto zaznaczyć, że prace projektowe prowadzone były we współpracy z przyszłymi użytkownikami. Prace rozpoczęto od badań własności mechanicznych oddziaływania narzędzi z tkanką podczas operacji oraz obserwacji pracy chirurga (ryc. 5.) [1].

Ze względów etycznych i praktycznych ostatnia faza eksperymentalna powinna obejmować minimalną liczbę zwierząt, być doskonale zaplanowana i przeprowadzona przez fachowy, wyćwiczony w innowacyjnym charakterze eksperymentu zespół.



Ryc. 5. Roboty i narzędzia mechatroniczne powstają w ścisłej współpracy z przyszłymi użytkownikami. Badania ergonomii pracy chirurga (Joanna Śliwka, Śląskie Centrum Chorób Serca) i operatora (Zbigniew Nawrat) robota



Wszystkie typy robotów poddano ocenie podczas 3 eksperymentów na zwierzętach. Zaplanowano je jako test techniczny zastosowania opracowywanych robotów podczas elementów najbardziej typowych operacji na „szlaku kroków milowych medycyny” (usunięcie woreczka żółciowego, naprawa zastawek serca oraz wszczepienie pomostu naczyniowego wieńcowego). W styczniu 2009 r. operacje przeprowadzono na świnich w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach przy udziale znakomitych kardiochirurgów (Romuald Cichoń, Joanna Śliwka, Grzegorz Religa, Michał Zembala) [9]. W czasie eksperymentu wykonano z powodzeniem zadania chirurgiczne w przestrzeni brzucha (operacja wycięcia pęcherzyka żółciowego) oraz w przestrzeni klatki piersiowej i serca – elementy naprawy zastawek serca (ta operacja z krążeniem pozaustrojowym) (ryc. 6). Na późniejszy termin przesunięto natomiast planowaną operację wszczepienia *by-passów*. W ostatniej fazie eksperymentu sprawdzono skuteczność mechatronicznych narzędzi Robin Heart Uni System, które można montować na ramieniu robota (sterowanie z konsoli) lub trzymać w dłoni (sterowanie manualne). Zebrane opinie i uwagi zostały wykorzystane do udoskonalenia narzędzi oraz elementów robota chirurgicznego. Robin Heart Vision spełnił oczekiwania twórców i użytkowników. Podczas operacji na zwierzętach bez zarzutu wykonywał zadania związane ze sterowaniem położenia toru endoskopowego. Zgromadzone doświadczenie stanowiło podstawę dla wytyczonych prac konstrukcyjnych i wykonawczych robotów.

W maju 2010 r. przeprowadzono pierwszą weryfikację w eksperymencie na zwierzęciu nowego modelu, Robin Heart mc<sup>2</sup>, który powstał w odpowiedzi na potrzeby precyzyjnego działania w małym obszarze pola, docelowo również w wybranych operacjach chirurgicznych przez otwory naturalne chorego. Wszystkie elementy operacji zarejestrowano za pomocą kilku kamer. Przeanalizowano opinie chirurgów

oraz wykonane elementy operacji (ryc. 7.). Eksperyment potwierdził słuszność założeń konstrukcyjnych robota. Skutecznie realizowano zadania chirurgiczne z blisko osadzonych portów w ciele zwierzęcia.

### Podsumowanie

Rynek robotyki medycznej rozwija się dynamicznie. Dzisiaj roboty wzbudzają ogromne zainteresowanie chirurgów i pacjentów. Do tej pory nie rozwiązano jednak wielu zagadnień dotyczących techniki operacji, bezpieczeństwa oraz kryteriów ekonomicznych obszarów stosowania robotów chirurgicznych.

Podsumowując – pierwsze trzy eksperymenty na zwierzętach prototypowych robotów Robin Heart należy uznać za udane. Na podstawie analizy osiągniętych wyników podjęto określone decyzje dotyczące potrzeby wprowadzenia modyfikacji i zmian w systemie Robin Heart oraz koniecznego zakresu badań eksperymentalnych przedklinicznych na zwierzętach. Testowany w 2010 r. robot Robin Heart mc<sup>2</sup> stanowi bardzo interesującą, zdaniem przyszłych użytkowników, propozycję. To unikalna konstrukcja i obecnie jedyny robot, który umożliwia pracę w lokalnym obszarze przez blisko siebie osadzone narzędzia. Robin Heart mc<sup>2</sup> to obecnie najbardziej uniwersalny robot chirurgiczny. Prototyp będzie udoskonalany i w 2011 r. planowane jest zastosowanie go w teleoperacjach na zwierzętach. Robin Heart Vision, jako robot służący do sterowania położeniem endoskopowego toru wizyjnego, ma utworować drogę do kliniki całej rodziny opracowywanych robotów. Nowy planowany projekt, **Robin Heart PortVisionAble**, odpowiada na zapotrzebowanie świata medycznego na lekkie, przenośne zrobotyzowane stanowisko sterowania położeniem kamery endoskopowej. Ramię robota, wykorzystane do pozycjonowania narzędzi i kamery wideo, charakteryzuje się o wiele większą dokładnością i stabilnością niż ręka chirurga. Aktualne informacje o projekcie dostępne są na stronie [www.robinheart.pl](http://www.robinheart.pl).



**Ryc. 6.** Testy robotów Robin Heart – model Robin Heart 1 i 2 w styczniu 2009 r. (Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach). Kardiochirurdzy: przy konsoli Joanna Śliwka, przy stole operacyjnym Romuald Cichoń i Grzegorz Religa

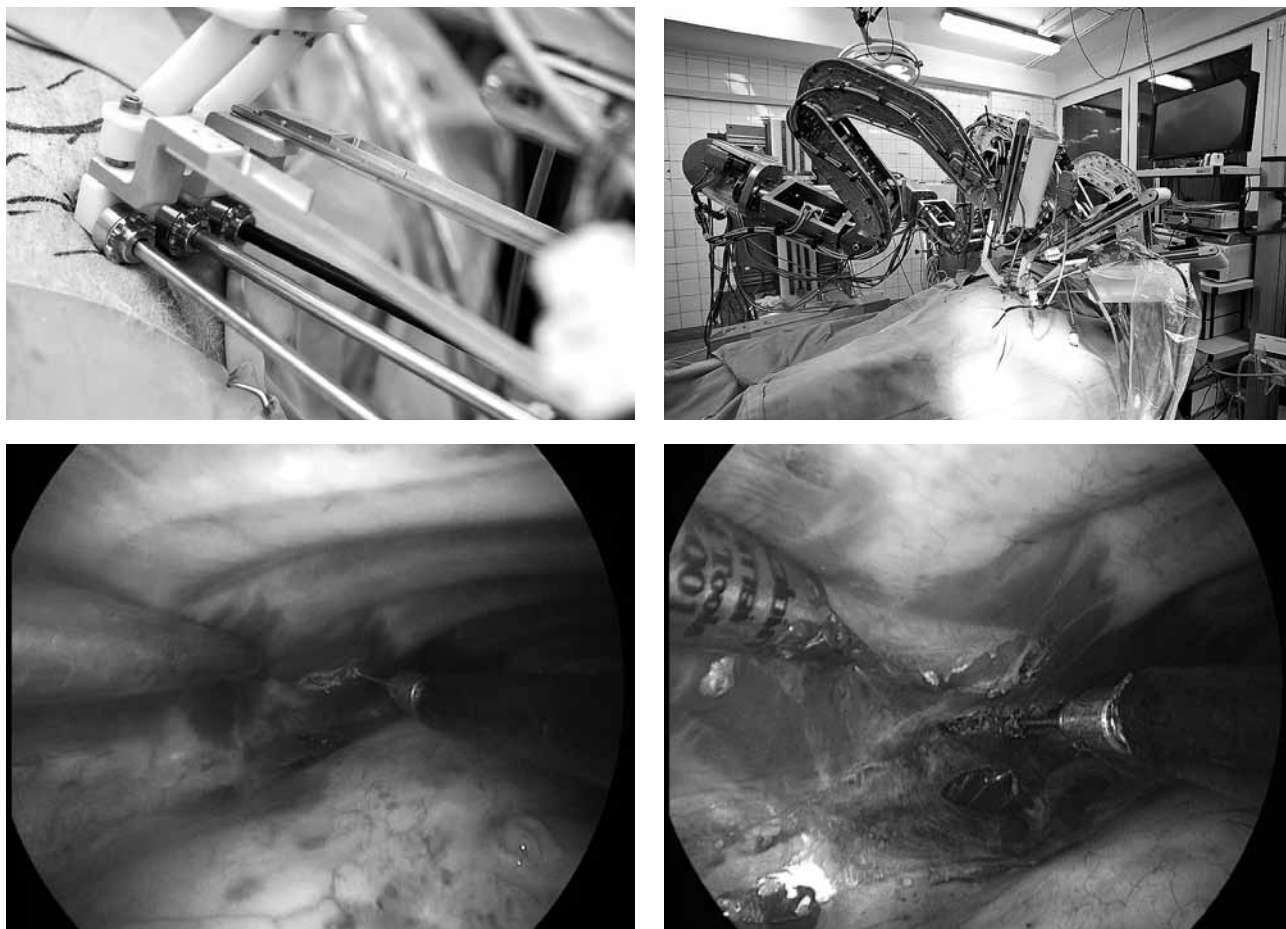
Minęło 10 lat od rozpoczęcia polskiego projektu robota chirurgicznego. Zabrzański zespół nadal odgrywa pionierską i inspirującą rolę dla rozwoju tej multidyscyplinarnej dziedziny nauki, techniki i medycyny.

W czasie ostatniej konferencji Roboty Medyczne 2010 w Zabrzu zawiązano Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotów Medycznych. Oficjalną stroną internetową nowego towarzystwa z siedzibą w Zabrzu jest [www.medical-robots.eu](http://www.medical-robots.eu). Zaproszenie do Stowarzyszenia przyjęli już Richard Satava (pierwszy na świecie chirurg operujący ro-

botem) i Kevin Warwick (pionier biorobotów i pierwszy na świecie człowiek z wszczepionym chipem – cyborg).

Najważniejszym wydarzeniem grudniowego spotkania był pierwszy w Polsce eksperyment teleoperacji. Chirurg (Joanna Śliwka – na co dzień kardiochirurg Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrzu) z konsoli w FRK w Zabrzu operowała robotem Robin Heart umieszczonym w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach-Ligocie. Na tej sali operacyjnej kilka miesięcy temu wykonano eksperyment na świni, sto-





Ryc. 7. Testy Robin Heart mc<sup>2</sup> w maju 2010 r. (Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach)

sując robota Robin Heart mc<sup>2</sup>. Uzyskane doświadczenie zostanie wykorzystane do przygotowania projektu serii eksperymentów teleoperacji na zwierzętach wykonywanych w katowickim centrum w Zabrze. Pomiar opóźnienia sygnału sterowania robotem (1 ms) oraz obrazu (280 ms) świadczy o możliwości wykonania już dzisiaj operacji, takich jak wycięcie pęcherzyka żółciowego. Opóźnienie przesyłu obrazu (a na podstawie obrazu chirurg operuje) jest jednak zbyt duże, by prowadzić operację na sercu.

Polski projekt robota Robin Heart stanowi istotny wkład w realizację dążenia do europejskiego robota medycznego o podobnym jak da Vinci obszarze zastosowań. Majowy eksperyment w 2010 r. udowodnił, że koncepcja nowego robota Robin Heart mc<sup>2</sup> otwiera zupełnie nowe perspektywy przed chirurgią wykonywaną za pomocą robotów. Dzisiaj robot da Vinci stanowi najwyższy standard technologii. Mamy nadzieję, że za kilka lat rozwijane innowacyjne projekty robota Robin Heart będą stanowić uzasadnioną alternatywę dla chirurgów wielu specjalności.

### Podziękowania

Projekt robota Robin Heart był finansowany w ramach projektu badawczego KBN 8 T11E 001 18 oraz projektu zamawianego PW-004/ITE/02/2004 i ze środków na na-

ukę jako projekt badawczy rozwojowy grant nr R1303301 i projekt rozwojowy Nr R13 0058 06/2009 oraz przez FRK i wielu sponsorów. Dziękuję firmie EMED z Warszawy za wypożyczenie narzędzi do elektrokoagulacji wykorzystanych podczas zabiegu oraz wiele cennych uwag, a także firmie FAMED z Żywca za współpracę w zakresie mocowania robotów do stołu operacyjnego oraz firmie EMITEL za przygotowanie i realizację łącza radiowego podczas teleoperacji Zabrze–Katowice. Dziękuję zespołowi Pracowni Biocybernetyki FRK, w tym głównie Pawłowi Kostce za pracę nad systemem sterowania robota oraz Mariuszowi Jakubowskiemu, Adamowi Klisowskiemu, Kamilowi Rohrowi, Klaudiuszowi Wtorkowskiemu. Przede wszystkim winny jestem podziękowania prof. Leszkowi Podsędkowskiemu z zespołem Politechniki Łódzkiej za prace konstrukcyjne nad modelami Robin Heart 0, 1, 3 i Panu Markowi Ciembroniewiczowi oraz pracownikom jego firmy EMSI z Siemianowic Śląskich za niezwykle zaangażowanie i kompetencje podczas prac nad robotem Robin Heart mc<sup>2</sup>. Dziękujemy za fachową pomoc i gościnę w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, w szczególności prof. Jerzemu Stojko za opiekę nad eksperymentami i Anieli Grajczek. Dziękuję Adamowi Smołce (krążenie pozaustrojowe) i Joannie Kreis (pielęgniarka anestezjologiczna). Sens na-

szym pracom nadaje bliska współpraca z przyszłymi użytkownikami – serdecznie dziękujemy za wsparcie lekarzom Śląskiego Centrum Chorób Serca oraz zaprzyjaźnionym chirurgom (Joanna Śliwka, Michał Zembala, Krzysztof Filipiak oraz Romuald Cichoń, Grzegorz Religa).

### Piśmiennictwo

1. Nawrat Z. Roboty medyczne. W: Będziński R (red.). Biomechanika. (w przygotowaniu).
2. Source: Intuitive Surgical 10-K; Annual Report; 29/01/10 & Intuitive Surgical Website ([www.intuitivesurgical.com](http://www.intuitivesurgical.com))
3. Nawrat Z, Koźlak M. Robin Heart System modelling and training in virtual reality. *J Automat Mob Rob Intel Syst* 2007; 2: 62-66.
4. Nawrat Z, Podsędkowski L, Mianowski K, Kostka P, Wróblewski P, Małota Z. Robin Heart – Actual project state of polish telemanipulator dedicated for cardiac surgery. *The International Journal of Artificial Organs* 2003; 12: 1115-1119.
5. Nawrat Z, Podsędkowski L, Mianowski K, Kostka P, Wróblewski P, Małota Z, Religa Z. Robin Heart oraz Zeus i Da Vinci – porównanie robotów kardiochirurgicznych. XIII Krajowa Konferencja Naukowa. Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna. Gdańsk, 10–13 września 2003 r.; 464-469.
6. Nawrat Z, Kostka P. Robin Heart. *Medical Robotics*. W: Bozovic V (red.). Vienna, I-Tech Education and Publishing 2008; 265-290.
7. Nawrat Z, Kostka P. Polish Cardio-robot 'Robin Heart'. System description and technical evaluation. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*. 2006; 2: 36-44.
8. Nawrat Z (red.). Roboty medyczne/Medical Robots. M-Studio 2007.
9. Nawrat Z, Kostka P, Dybka W, Rohr K, Podsędkowski L, Śliwka J, Cichoń R, Zembala M, Religa G. Pierwsze eksperymenty na zwierzętach robota chirurgicznego Robin Heart. *PAR Pomiary Automatyka Robotyka. Miesięcznik Naukowo-Techniczny* 2010; 2. *Automation* 2010. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna. *Automatyzacja – Nowości i Perspektywy*; 539-545.