

dr Zbigniew Nawrat
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

PIERWSZY EKSPERYMENT IN VIVO ROBOTA CHIRURGICZNEGO ROBIN HEART mc² – RAPORT

Praca przedstawia aktualne prace prowadzone w zabrzańskim zespole związane z projektem robota chirurgicznego Robin Heart mc². Projekt wkroczył w fazę eksperymentu na zwierzętach. W styczniu 2009 r. wykonano pierwsze eksperymentalne operacje robotami systemu Robin Heart mc² na świniax: usunięcia woreczka żółciowego oraz elementy operacji naprawczych zastawki mitralnej i trójdzielnej. Planowany zabieg pomostowania naczyń wieńcowych TECAB przełożono na inny termin. Podjęto decyzję o budowie nowego robota. W maju 2010 roku przeprowadzono pierwszy eksperyment specjalnie zaprojektowanym robotem Robin Heart mc². Cel eksperymentów został osiągnięty: zespół chirurgiczny zaakceptował nową konstrukcję robota.

THE ROBIN HEART MC² SURGERY ROBOT IN VIVO FIRST EXPERIMENT – REPORT

The presented work presents the current works led in Zabrze's team connected with project of Robin Heart mc² 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 mc². Purpose of the experiments has been achieved: new construction work has been accepted by the surgical team.

1. WPROWADZENIE

Robot chirurgiczny jest manipulatorem kopiującym, telemanipulatorem, który składa się z dwóch lub więcej ramion narzędziowych i jednego trzymającego kamerę oraz układu zadawania ruchu wraz z układem sterowania. Operator wykonuje różne zadania sterując ruchem końcówki roboczej przymocowanego do ramienia narzędzia pracującego jako chwytak, nożyczki lub nóż koagulujący.

Telemanipulatory chirurgiczne już dzisiaj stanowią wyposażenie wielu sal operacyjnych przyczyniając się do prowadzenia operacji w sposób mniej inwazyjny, skracając czas hospitalizacji bezpośrednio po operacji i zmniejszając liczbę powikłań pooperacyjnych. Jedyny obecnie dostępny na rynku robot da Vinci, firmy Intuitive Surgical, został sprzedany już w liczbie ponad 1600 sztuk. Około 300 robotów jest w Europie. Od grudnia 2010 r. jest i pierwszy robot w Polsce (w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu) dzięki staraniom prof. W. Witkiewicza. Wg informacji prasowych robot będzie wykorzystywany na oddziałach chirurgii ogólnej, naczyniowej i onkologicznej, a także urologii, ginekologii i kardiochirurgii. Czteroramienny robot może być sterowany przez dwóch chirurgów z dwóch

niezależnych konsol. Robot wraz z kompletem narzędzi, wystarczających na 30 operacji, kosztował 8,6 mln zł. Koszt operacji, według obliczeń dyrektora szpitala, waha się w granicach 18–24 tys. zł. Pionierskie w Polsce prace kliniczne za pomocą robotów prowadzono w Klinice Kardiochirurgii SUM w Katowicach (prof. A. Bochenek, prof. M. Cisowski) 10 lat temu. Wykorzystywano z powodzeniem zakupiony robot toru wizyjnego AESOP oraz pożyczony na 10 operacji robot Zeus (nieistniejącej już firmy Computer Motion).

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 mc² 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. Poniższy artykuł stanowi jedną z prób uzasadnienia tej tezy.

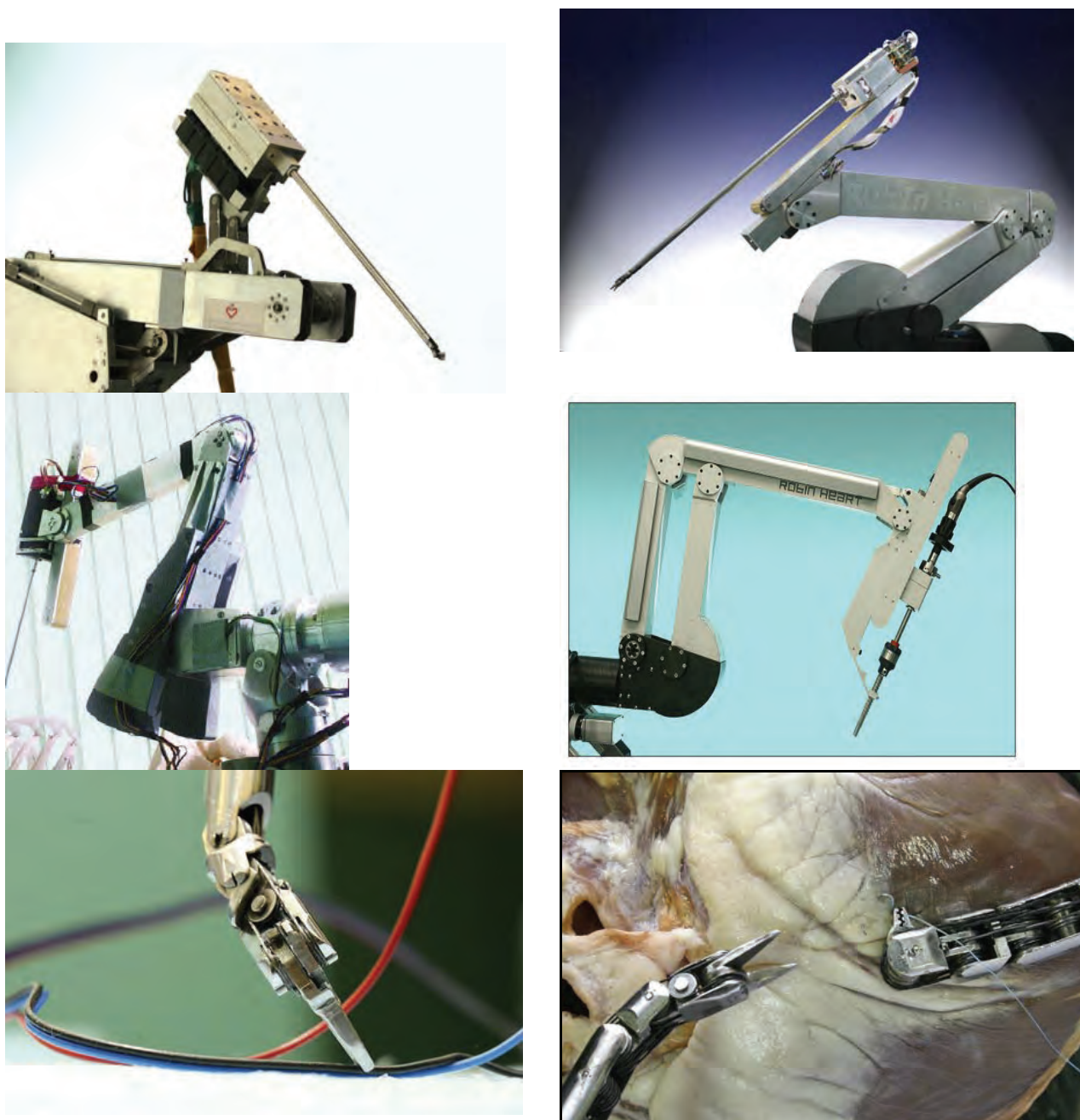
2. ROBIN HEART

Prace nad polskim robotem finansowane przez KBN (następnie MNiSW) i Fundację Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze prowadzone są od 2000 r. Projekt badawczy realizowany przez multidyscyplinarny zespół w kilku ośrodkach naukowych w Polsce obejmuje swoim zakresem opracowanie różnych strategii operacji, symulacje przebiegu operacji, opracowanie ergonomicznego stanowiska pracy chirurga, zaprojektowanie układu sterowania i konstrukcji mechanicznej manipulatora oraz wykonanie niezbędnych modeli i prototypu. Rezultatem prac jest system urządzeń, prototypów telemanipulatorów chirurgicznych o nazwie Robin Heart, przygotowujący się do wkroczenia na sale operacyjne.

W ramach rodziny polskich robotów Robin Heart przeznaczonych do operacji na sercu i w układzie sercowo-naczyniowym powstały do tej pory modele: Robin Heart 0, Robin Heart 1 i Robin Heart 2, Robin Heart 3 (PŁ) oraz Robin Heart Vision różniące się m.in. koncepcją sterowania i mocowania (rys. 1). Zgodnie z założeniami autorów Robin Heart Vision – zrobotyzowane ramię służące do sterowania położeniem toru wizyjnego ma być pierwszym wdrożonym klinicznie robotem z rodziny Robin Heart.

3. ROBIN HEART 4 mc²

Nowy model robota był odpowiedzią na wnioski dotyczące funkcjonalności przyjętych rozwiązań modeli robotów RiH 1,2,3 i Vision zweryfikowanych podczas eksperymentów na zwierzętach w styczniu 2009 r. opisanych w artykule [1]. Jedynie montowany do stołu operacyjnego RiH Vision został zaakceptowany bez żadnych uwag przez zespół operujących lekarzy. Wykonano elementy operacji usunięcia pęcherzyka żółciowego oraz naprawy zastawek serca. Nie wykonano operacji pomostowania aortalno-wieńcowego z powodu kolizji narzędzi, w szczególności występującej podczas pobierania graftów naczyniowych – tętnicy piersiowej. Trudności były w znacznej części spowodowane odmiennością anatomii zwierzęcia (świni) od człowieka. Klatka piersiowa jest znacznie węższa i trudniejszy jest dostęp do tętnicy piersiowej. Jednakże powstałe problemy zainspirowały do zmiany koncepcji przestrzennej, funkcjonalnej i konstrukcyjnej robota.



Rys. 1. Rodzina robotów Robin Heart od lewej, od góry: Robin Heart 0, Robin Heart 1, Robin Heart 2, Robin Heart Vision, narzędzie Robin Heart 3, Robin Heart mc², konsola Robin Heart Shell wraz z robotami Robin Heart Visio i Robin Heart 1

Nowy robot stanowi zupełnie oryginalne w skali światowej rozwiązanie konstrukcyjne: układ ramion 2+1, gdzie dwa zewnętrzne ramiona są ramionami narzędziowymi, a środkowe jest wyposażone w platformę, na której mogą pracować dwa narzędzia robocze typu RiH Uni System oraz tor wizyjny. Ten układ jest zakodowany w skrótce mc² (**m**anually and **t**wo **c**omputer **c**ontrolled tools robot).

Trzy ramiona zamocowane są na jednej kolumnie. Mechatroniczne narzędzia RiH Uni System można montować na ramieniu robota lub w specjalnym uchwycie ręcznym – co powoduje, że asystent może w każdej chwili dodać w pole operacyjne orientowane za pomocą ręki i sterowane za pomocą odpowiednich przycisków manualnie narzędzia o takiej samej funkcjonalności.

Robin Heart mc² to obecnie jedyny robot, który pozwala na operowanie w małej przestrzeni przez blisko umieszczone porty (przecięcia powłok pacjenta) trzech narzędzi. Stanowi to fundamentalne rozwiązanie dla takich operacji jak pomostowanie naczyń wieńcowych czy potencjalnie wiele zabiegów wykonywanych przez naturalne otwory w ciele pacjenta (tzw. operacje NOTES np. przez pępek chorego).

Konsola Robin Heart Shell umożliwia sterowanie równoczesne dwóch narzędzi i toru wizyjnego (mikrodżojstik w zadajniku ruchu). Przełączanie zestawu narzędzi sterowanych odbywa się za pomocą sprzęgła umieszczonego w pedale.

Platforma wyposażona jest w uchwyt narzędzi i system mechatroniczny umożliwiający zmianę ich orientacji przestrzennej, wprowadzanie i pracę w głębi pola operacyjnego. Platformę można łatwo zdemontować z ramienia i wtedy ramię środkowe pełni klasyczną rolę ramienia wizyjnego.

Wśród najistotniejszych zmian wprowadzonych w konstrukcji robota Robin Heart mc² należy wymienić zastosowanie napędu łańcuchowego w układzie kinematycznego mechanizmu stałopunktowego oraz ciągnowy przekaz napędu do końcówki narzędziowej (kosztem rezygnacji z dodatkowych stopni swobody). Celem wprowadzonych zmian w budowie narzędzia było zwiększenia ich trwałości i niezawodności.

4. EKSPERYMENT

Proces 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.

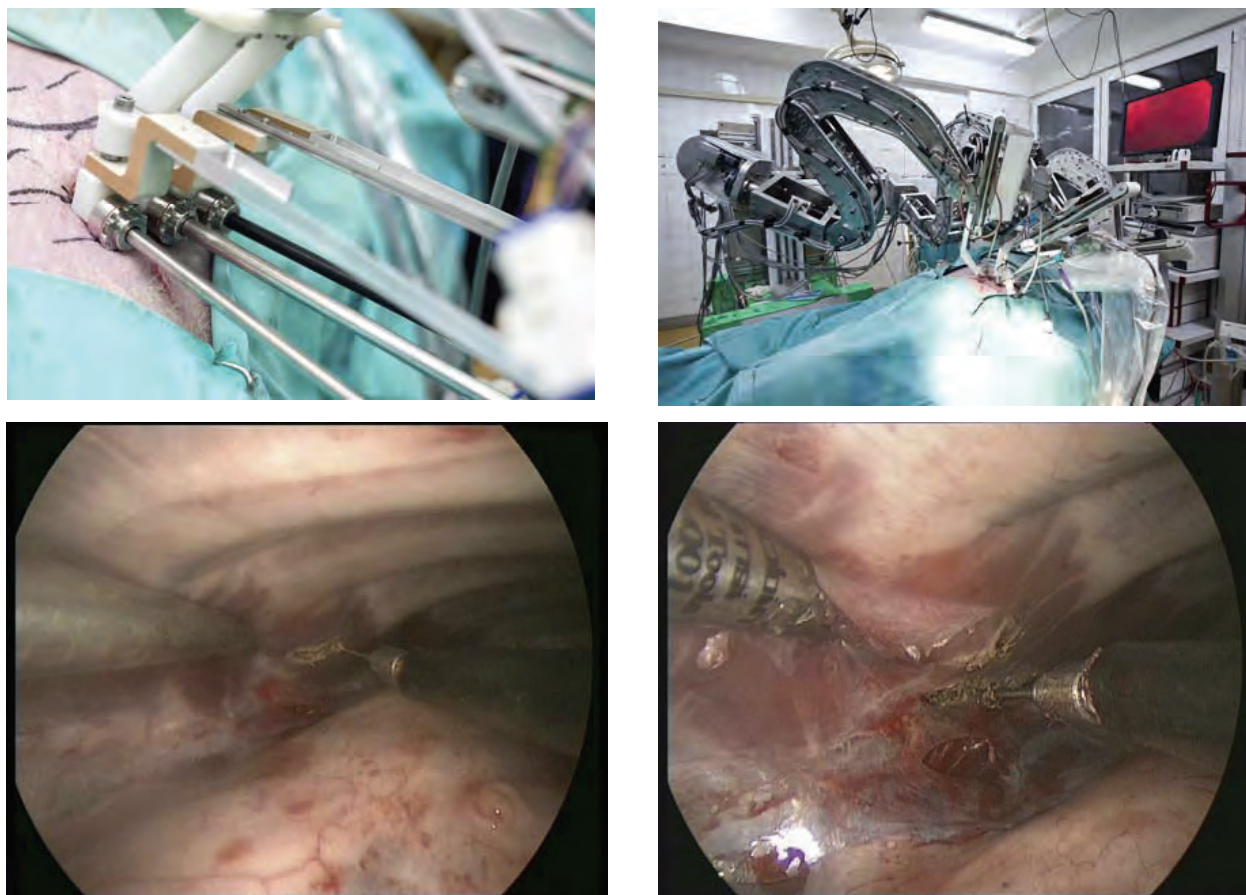
Ze względów etycznych i praktycznych ostatnia faza eksperymentalna powinna obejmować minimalną liczbę zwierząt, być doskonale zaplanowana i przeprowadzona przez fachowy, wyćwiczony w innowacyjnym charakterze eksperymentu zespół.

Wszystkie typy robotów poddano ocenie podczas trzech eksperymentów na zwierzętach. Eksperymenty zostały zaplanowane 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. Robin Heart Vision jako robot toru wizyjnego uzyskał pełną akceptację funkcjonalną operujących chirurgów już podczas pierwszych eksperymentów.

W styczniu 2009 r. podano testom wszystkie roboty w eksperymencie na zwierzętach. Operację przeprowadzono na świniach w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach przy udziale znakomitych kardiologów (Romuald Cichoń, Joanna Śliwka, Grzegorz Religa, Michał Zembala). W czasie eksperymentu wykonano z powodzeniem zadania chirurgiczne w przestrzeni brzucha: operację wycięcia pęcherzyka żółciowego oraz w przestrzeni klatki piersiowej i serca: elementy naprawy zastawek serca (ta operacja z krążeniem pozaustrojowym) [1]. Zgromadzone doświadczenie stanowiło podstawę dla wytyczonych prac konstrukcyjnych i wykonawczych robotów.

W maju 2010 r. przeprowadzono pierwszą weryfikację w eksperymencie na zwierzęciu (rys. 2) nowego modelu, **Robin Heart mc²**, który powstał w odpowiedzi na potrzeby

precyzyjnego działania w małym obszarze pola, docelowo również w wybranych operacjach chirurgicznych przez otwory naturalne chorego. Robot jest uniwersalny w takim znaczeniu, że może pracować w klasycznym już układzie trójkąta lub linii przejścia przez powłoki ciała pacjenta lub przez praktycznie jeden większy otwór (dwa narzędzia wykonawcze i tor wizyjny). Narzędzia można w szybki sposób zdemontować z ramienia robota i sterować nimi ze specjalnego uchwytu w dłoni.



Rys. 2. Testy Robin Heart mc² w maju 2010 r. (Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach)

Operację w krążeniu pozaustrojowym wykonano w klasyczny sposób zabezpieczając stan kliniczny operowanego zwierzęcia. Anestezja została wykonana przez Jerzego Stojko (CMD SUM). Perfuzja została zabezpieczona przez Adama Smółkę (SUM). W pierwszej fazie ustawiono środkowe ramię robota z platformą. Chirurgi: Michał Zembala i Joanna Śliwka (ŚCCS) wybrali lokalizację ustawienia przejścia przez powłoki ciała tak by umożliwić pobranie tętnicy piersiowej jako graftu do pomostowania naczyń wieńcowych. Po ujawnieniu prawidłowej pozycji otworów za pomocą toru wizyjnego osadzono troakary i pozycję ramienia robota. Na platformie roboczej zamontowano tor wizyjny HD oraz dwa narzędzia: zmodyfikowany nóż do elektrokoagulacji firmy EMED (dodano jednej stopień swobody: przegub umożliwiający odchylenie końcówki w kształcie haka) oraz chwytak. Chirurg zasiadł w konsoli i zaczął wykonywać kolejne elementy procedury. Następnie ustawiono robota do operacji wszczepienia graftu naczyniowego w serce. Tym razem zdemontowano platformę i wykonano elementy operacji w systemie klasycznym ustawienia ramion robota: dwa narzędzia oraz tor wizyjny w środku. Wszystkie elementy operacji zarejestrowano za pomocą kilku kamer. Przeanalizowano opinie chirurgów oraz wykonane elementy operacji.

4. PODSUMOWANIE

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

W sumie pierwsze trzy eksperymenty na zwierzętach prototypowych robotów Robin Heart należy uznać za udane. Na podstawie analizy osiągniętych wyników podjęliśmy określone decyzje dotyczące potrzeby wprowadzenia modyfikacji i zmian w systemie Robin Heart oraz koniecznego zakresu badań eksperymentalnych przedklinicznych na zwierzętach. Aktualne informacje o projekcie dostępne są na stronie www.robinheart.pl.

Testowany w 2010 r. robot Robin Heart mc² 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 mc² to obecnie najbardziej uniwersalny robot chirurgiczny. Prototyp będzie udoskonalany i w 2011 r. planowane jest zastosowanie go w teleoperacjach na zwierzętach. W grudniu 2010 r. w czasie konferencji Roboty Medyczne/Medical Robots 2010 dokonano po raz pierwszy w Polsce próby teleoperacji na dystansie Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze a Centrum Medycyny Doświadczalnej w Katowicach Ligocie. Prace badawcze w tym zakresie będą kontynuowane. Tego dnia, 10 grudnia 2010 r., powołano Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej/International Society for Medical Robotics z siedzibą w Zabrze. Następną, 9. już konferencja będzie organizowana przez nowo powstałe Stowarzyszenie. Oficjalną stroną internetową nowego towarzystwa z siedzibą w Zabrze jest www.medicalrobots.eu.

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

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 naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy rozwojowy” grant nr R1303301 oraz przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii i wielu sponsorów. Dziękuję firmie EMED z Warszawy za wypożyczenie narzędzi do elektroakulacji wykorzystane podczas zabiegu oraz wiele cennych uwag, a także firmie FAMED z Żywca za współpracę w zakresie mocowania robotów do stołu operacyjnego. Dziękuję zespołowi Pracowni Biocybernetyki FRK, w tym głównie Pawłowi Kostce za pracę nad systemem sterowania robota. Przede wszystkim winny jestem podziękowaniu Panu Markowi Ciembroniewiczowi oraz pracownikom jego firmy EMSI z Siemianowic Śląskich za niezwykle zaangażowanie i kompetencje podczas prac nad robotem Robin Heart mc².

BIBLIOGRAFIA

- [1] Z. Nawrat, P. Kostka, W. Dybka, K. Rohr, L. Podśędkowski, J. Śliwka, R. Cichoń, M. Zembala, G. Religa: „**Pierwsze eksperymenty na z zwierzętach robota chirurgicznego Robin Heart**”. PAR Pomiary Automatyka Robotyka. Miesięcznik Naukowo-Techniczny. Nr 2/2010. Automation 2010. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna. Automatykacja- Nowości i Perspektywy, s. 539–545.