

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

EKSPERYMENTY IN VIVO SYSTEMU ROBOTA CHIRURGICZNEGO ROBIN HEART – RAPORT Z PRZYGOTOWAŃ

Prezentowana praca przedstawia aktualne prace prowadzone w zabrzańskim zespole związane z projektem robota chirurgicznego Robin Heart oraz mechatronicznych narzędzi chirurgicznych Robin Heart Uni System. Projekt wkracza w fazę eksperymentu na zwierzętach. W styczniu 2009 r. planowane jest wykonanie trzech eksperymentalnych operacji na świnich: usunięcia woreczka żółciowego, TECAB – operacja pomostowania naczyń wieńcowych na bijącym sercu oraz operacja naprawcza zastawki mitralnej. Eksperymenty mają wskazać konstruktorom obszar niezbędnych zmian które będą wprowadzone do opracowywanych urządzeń przed opracowaniem technologii produkcji seryjnej i wdrożeniem klinicznym.

THE ROBIN HEART SYSTEM IN VIVO EXPERIMENTS – ARRANGEMENT REPORT

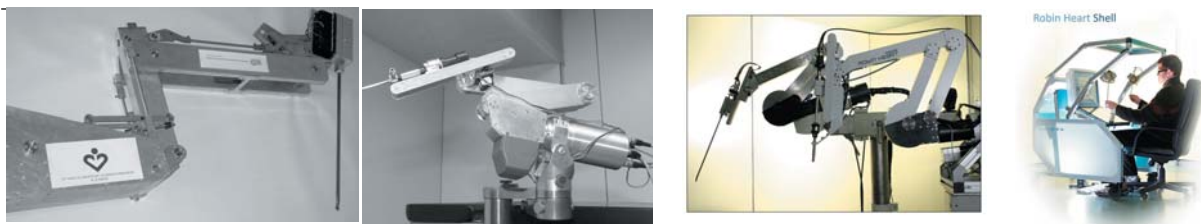
The presented work presents the current works led in Zabrze's team connected with project of Robin Heart surgical robot as well as the Robin Heart Uni System mechatronic surgical tools. The project enters in phase of experiment on animals. For the experiment, which will be carried out in January 2009 three operations on pigs: cholecystectomy, TECAB - the operation the coronary by-pass on beating heart as well as the repair operation of mitral valve are planned. The goal of these experiments are to show the constructors the area of indispensable changes which they will be introduced to worked out devices before study of technology of serial production and clinical initiating.

1. WPROWADZENIE

Roboty medyczne stanowią wielki potencjał dla chirurgii, zwiększając jej precyzję i ułatwiając dostęp małoinwazyjny do obszaru operacji. Dzisiaj to są głównie telemanipulatory, czyli po jednej stronie robota mamy człowieka, który wydaje decyzje dotyczące ruchu i zadań do wykonania, a po drugiej stronie jest efektor, końcówkę narzędzia wykonującą zadania w określonej przestrzeni roboczej ciała pacjenta. Fundacja Rozwoju Kardiologii od 2000 prowadzi unikalny w Europie projekt zmierzający do powstania robota kardiologicznego. Rozwijający się multidyscyplinarny zespół oraz zebrane doświadczenia i projekty stanowią szansę na szybkie wdrożenie całej gamy nowoczesnych narzędzi chirurgicznych w Polsce.

Efektem programu prowadzonego we współpracy ze specjalistami z Politechniki Łódzkiej i Warszawskiej jest prototypowa rodzina polskiego robota kardiologicznego o nazwie

Robin Heart. 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.



Rys.1. Roboty Robin Heart 0, Robin Heart 2, na wspólnym zdjęciu Robin Heart 1 i Robin Heart Vision oraz, ostatnia po prawej, konsola sterowania robotem Robin Hart Shell

Obecnie prowadzone są w Fundacji intensywne prace nad kliniczną wersją robota Robin Heart Vision, nad odpowiednim przygotowaniem modeli prototypowych robota Robin Heart do badań eksperymentalnych na zwierzętach, a także - w ramach projektu **Robin Heart Uni System** - nad opracowaniem zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych nowej generacji. Innowacyjne, mechatroniczne narzędzia o znacznej ruchliwości, wielofunkcyjne i półautomatyczne skracają czas operacji i znacznie zwiększają możliwości operatora oraz bezpieczeństwo zabiegu. Przy ścisłej współpracy z lekarzami i studentami medycyny stworzony został również model ergonomicznej konsoli sterowniczej **Robin Heart Shell**. Opracowywany jest program doradczy – **Robin Heart Expert** - dostępny w czasie operacji. Chirurg, operator robota będzie mógł wybrać zadajnik ruchu dopasowany do indywidualnych jego wymagań. Program doradczy to inteligentna baza, zawierająca wszystkie dane diagnostyczne pacjenta (włącznie z obrazami) oraz dane uzyskane w procesie przygotowania, planowania operacji. Planujemy opracowanie i badania systemu sterowania na odległość robotem, tzw. **teleoperacji** oraz zastosowanie opracowanych narzędzi i nowych technik operacji do implantacji i serwisowania sztucznych narządów w tym sztucznego serca (projekt **AO-RobAS** – Artificial Organs Robotically Assisted Surgery). Waga i oryginalność projektu Robin Heart spowodowała rozwój zainteresowania w Polsce robotyką i powstanie nowej dzie-

dziny nauki w Polsce - robotyki chirurgicznej. Dzięki wsparciu unijnego projektu Equal (EFS) utworzyliśmy Zakład **Robin Heart Service** jako zaczątek pierwszej w Polsce firmy produkującej roboty. Odpowiedzialni za uruchomienie tej aktywności prowadzącej do wdrożeń klinicznych mechatronicznych narzędzi bierzemy na siebie również obowiązek przygotowania pewnych standardów, systemu testów tych innowacyjnych narzędzi chirurgii. Budujemy stanowiska badawcze i opracowujemy systemowo metody ich weryfikacji, przede wszystkim w warunkach laboratoryjnych. Prace nad robotem chirurgicznym stymulują również działania edukacyjne i promocyjne. Najważniejsze z nich to Warsztaty Chirurgiczne oraz Międzynarodowa Konferencja Roboty Medyczne. Prowadzimy również działalność wydawniczą – wydaliśmy pierwszą w Polsce książkę poświęconą aktualnym postępom w tej dziedzinie pt. „**Roboty medyczne**”. Wszystkie publikacje SA dostępne na stronie www.robinheart.pl. Wprowadziliśmy wiele nowych sposobów nauki i treningu chirurgów, w tym wirtualną salę operacyjną (jedyne tego oryginalne przedsięwzięcie w Polsce). Pracujemy nad systemem **Robin Heart DuoTeacher** który umożliwi równoległą pracę nauczyciela i ucznia za pomocą dwóch zespolonych konsol sterowania.

2. KLASYFIKACJA

Do obrotu i do używania mogą być wprowadzane wyroby medyczne spełniające wymagania określone w ustawie o wyrobach medycznych i oznakowane znakiem CE. Pierwszym zadaniem jest dokonanie klasyfikacji i kwalifikacji wyrobu medycznego, w zależności od potencjalnego ryzyka związanego ze stosowaniem tego wyrobu.

Manipulator pod nazwą **Robin Heart Vision** umożliwia pokazanie pola operacyjnego podczas operacji laparoskopowych a manipulator pod nazwą **Robin Heart** umożliwia samo wykonanie operacji – należy uznać, że wyroby te odpowiadają definicji wyrobu medycznego w Ustawie z dnia 20 kwietnia 2004 r. o wyrobach medycznych, Dziennik Ustaw Nr 93, poz. 896 art.3, punkt1., ust.17:

„wyrób medyczny to narzędzie, przyrząd, aparat, sprzęt, materiał lub inny artykuł, stosowany samodzielnie lub w połączeniu, włączając oprogramowanie niezbędne do właściwego stosowania wyrobu, przeznaczone przez wytwórcę do stosowania u ludzi w celumonitorowania, leczenia lub łagodzenia przebiegu chorób kompensowania urazów lub upośledzeń, zastępowania lub modyfikowania budowy anatomicznej.

Podczas klasyfikacji i kwalifikacji wyrobu medycznego – manipulatora rodziny **Robin Heart** należy uwzględnić, że: a) ze względu na czas trwania kontaktu jest to wyrób medyczny do krótkotrwałego użytku, b) Jest to wyrób częściowo wprowadzany do wnętrza ciała przez otwór ciała lub powierzchnię ciała, czyli jest to wyrób inwazyjny, c) Jest to wyrób inwazyjny, który przenika do wnętrza ciała, z pomocą lub w kontekście operacji chirurgicznej, czyli jest to wyrób chirurgicznie inwazyjny, d) Jest to wyrób medyczny, którego działanie zależy od źródła energii elektrycznej, czyli jest to aktywny wyrób medyczny. Ponadto, jest to wyrób medyczny przeznaczony do użycia wraz z innym wyrobem medycznym (np. endoskopowy tor wizyjny). Na podstawie Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie klasyfikacji wyrobów medycznych do różnego przeznaczenia (załączono) należy wyrób medyczny rodziny **Robin Heart** klasyfikować jako: **wyrób medyczny klasy III, zgodnie z regułą 7**. Jeżeli wyrób medyczny nie jest przewidziany specjalnie do diagnozowania, monitorowania lub **korygowania wad serca** lub centralnego układu krążenia poprzez **bezpośredni kontakt z tymi częściami organizmu** to zalicza się do klasy IIa, zgodnie z regułą 7.

Badania przedkliniczne obejmują testy laboratoryjne oraz testy na zwierzętach, które można wykonać po uzyskaniu zgody odpowiedniej Komisji Bioetycznej.

3. OPERACJA CHIRURGICZNA

Operacja chirurgiczna polega na wprowadzeniu modyfikacji patologicznego stanu tkanek i narządów przywracając możliwości wykonywania przez nie określonych funkcji życiowych. Podczas planowania operacji należy uwzględnić optymalny dla danego stanu pacjenta wybór metody postępowania, rodzaju oprzyrządowania i materiałów. W sposób typowy dostęp do serca uzyskuje się, przez sternotomię – szerokie otwarcie klatki piersiowej z rozcięciem mostka. Ta część zabiegu wprowadza znaczny uraz tkanek, powoduje zagrożenie infekcją oraz innymi komplikacjami. Z tego powodu chirurdzy wprowadzają, jeśli to tylko nie ogranicza efektywności i bezpieczeństwa w czasie zabiegu, metody małoinwazyjne. Nowoczesna chirurgia, chirurgia mniej inwazyjna, bezpieczna, skracająca czas hospitalizacji i zmniejszająca uraz pooperacyjny u pacjenta wymaga odpowiednich narzędzi: mechatronicznych narzędzi endoskopowych i robotów chirurgicznych. Chirurg przygotowując się do operacji u danego pacjenta podczas planowania zabiegu wykorzystuje wszystkie dostępne dane precyzujące stan pacjenta (dane diagnostyczne, opis choroby, ..) oraz dobiera środki, materiały, urządzenia, narzędzia dla uzyskania optymalnego efektu leczenia.

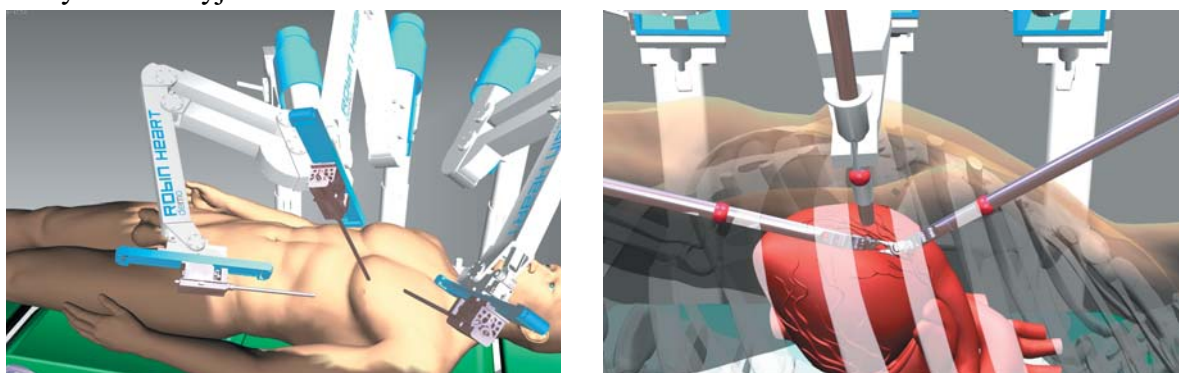
Podczas planowania wykorzystywana jest wirtualna sala operacyjna która pozwala na rozmieszczenie robotów na sali operacyjnej, lokalizację tzw. portów czyli otworów przez które będą wsunięte narzędzia do ciała oraz manipulacje narzędziami w określonych zadaniach w czasie operacji (rys.2). Dokonano wizji lokalnej laboratorium eksperymentalnego, oceniono możliwości rozmieszczenia urządzeń towarzyszących operacji. Przed eksperymentem w prototypowych robotach dokonano szereg modyfikacji, poprawek i zmian o szerokim zakresie konstrukcyjnym oraz dotyczących oprogramowania w celu zwiększenia bezpieczeństwa i skuteczności (bezawaryjności) działania robota. Został wymieniony praktycznie cały zespół okablowania, zasilania włącznie z obudową zespołów elektronicznych i elektrotechnicznych spełniającą standardowe wymagania.

4. ROBOTY - ZARYS HISTORII WDRAŻANIA KLINICZNEGO

Roboty chirurgiczne da Vinci, Zeus oraz nasz prototyp Robin Heart należą do grupy telemanipulatorów. *Telemanipulator* – robot aktywny zdalnie sterowany poprzez komputer lub operatora. Zadanie telemanipulatora polega na przenoszeniu funkcji motorycznych i sensorycznych operatora na określoną odległość. Telemanipulator chirurgiczny składa się z minimum dwóch ramion roboczych oraz ramienia obsługującego kamerę laparoskopową. Chirurg mając przed oczyma widok pola operacji (ramię robota z torem wizyjnym) w specjalnej konsoli steruje narzędziami (ramiona robota narzędziowe) wsuniętymi przez małe otwory do ciała pacjenta manipulując trzymanymi w dłoni zadajnikami ruchu (rodzaj dżojstików). W eksperymencie sprawdzimy również oryginalną koncepcję stosowania narzędzi systemu Robin Heart Uni System, który umożliwia przełożenie narzędzia z robota do specjalnego uchwytu ręcznego. Jest to odpowiedź naszego zespołu konstruktorskiego na zapotrzebowanie na półautomatyczne laparoskopowe narzędzie manualne. Wiele z operacji tylko w częściowo wykorzystuje roboty – niektóre fazy operacji z różnych powodów są obecnie wykonywane klasycznymi narzędziami laparoskopowymi.



Testy laboratoryjne Robin Heart'a



Rys. 2 Planowanie operacji za pomocą wirtualnej sali operacyjnej

W roku 1985 w Long Beach Memorial Hospital przeprowadzono pierwszy zabieg chirurgiczny wykonany za pomocą zmodyfikowanego robota przemysłowego PUMA 560. Robot służył do pozycjonowania igły biopsyjnej. Zabieg był wspomagany przez tomograf komputerowy, dzięki któremu chirurg dysponował obrazem 3D mózgu pacjenta. Pierwszą operacją w zakresie jamy brzusznej, przeprowadzoną w 1997 roku, z użyciem systemu da Vinci, była laparo-

skopowa cholecystektomia. W 1999 roku za pomocą robota kardiochirurgicznego Zeus wykonano pierwszą operację założenia bajpasu na bijącym sercu.

Robot da Vinci i Zeus został dopuszczony, przez FDA (Food and Drug Administration) w lipcu 2001 roku do użytku w operacjach laparoskopowych na terenie Stanów Zjednoczonych. 7 września 2001 roku za pomocą systemu Zeus dokonano pierwszej w historii transatlantyckiej operacji cholecystektomii (usunięcia woreczka żółciowego).

Do dzisiaj na świecie trwa poszukiwanie optymalnego obszaru stosowania robotów chirurgicznych (amerykański robot da Vinci). Zakres aplikacji tych robotów obejmuje takie zabiegi jak: cholecystektomia, splenektomia, resekcja woreczka żółciowego, operacje prostaty, operacje kardiochirurgiczne i ginekologiczne.

5. ROBOTY – ZARYS EKSPERYMENTALNYCH BADAŃ NA ZWIERZĘTACH

Teraz chciałbym krótki zamieścić przegląd literaturowy dotyczący eksperymentów robotem na zwierzętach. Badania na żywych zwierzętach [1]. Lomanto i wsp. [2] zastosowali robota Zeus do wykonania cholecystektomii (wycięcie pęcherzyka żółciowego) u 7 świń i zwrócili uwagę na znaczną redukcję czasu eksperymentu w miarę zbierania doświadczeń; skrócili czas wykonania zabiegu z 30 do 14 min. Zhu i wsp. [3] także testowali robota na modelu świńskim – zespolenie pęcherzykowo - czcze (Roux-en-Y zespolenie). Czas eksperymentów robotem był dłuższy niż typowymi narzędziami laparoskopowymi ale skuteczność operacji właściwa (bez przecieków). Hollands i wsp. [4] raportowali przeprowadzenie krótkich eksperymentów robotem Zeus na świni – enteroenterostomię (zespolenie jelitowo-jelitowe) a także choledochotomię (wycięcie przewodu żółciowego wspólnego) - tu wystąpiły jednak komplikacje. Jako wniosek podali, że szycie robotem przewodu żółciowego jest korzystniejsze niż typowymi narzędziami laparoskopowymi [5]. W 2003 r. zespół Marescaux przeprowadził na świnich eksperymenty operacji tętnicy szyjnej (wypreparowanie). Zaletą tych eksperymentów było, że wieprzowa tętnica szyjna posiada średnicę 3mm, i stosując 7-0 nici można było swobodnie w przestrzeni wypełnionej CO₂ manewrować [6]. Następne eksperymenty przeprowadził w tym zespole dr J. Leroy na 15 świnich hepatektomię (wycięcie wątroby) i wykazał użyteczność robota Zeus do wypreparowania i podwiązania naczyń wątrobowych. Margossian i wsp. [7] demonstrował z kolei wykonanie robotem zespolenia rogu macicy robotem na świni z wysoką dokładnością (kontrola 4 tyg. po eksperymentach). Kolejne eksperymenty przeprowadzono Zeusem w zakresie pyeloplastyki (operacja miedniczki nerkowej), nefrek-

tomie (wycięcie nerki) i adrenalektomie (wycięcie nadnerczy). Boehm i inni raportują że we wczesnych badaniach zrobotyzowanej kardiologii wykorzystano model laboratoryjny z sercami świńskimi (w sumie 109 zespołów naczyń wieńcowych (LAD)) a następnie przeprowadzono 6 eksperymentów na psach (z wewnętrzną tętnicą piersiową – „LIMA to LAD”). W trzeciej fazie wykonano 6 zabiegów robotem Zeus na ludziach [8].

Kolejno wprowadzane nowe procedury są testowane z wykorzystaniem modelu eksperymentu na świni. Np. badania wprowadzające do endoscopic laserowej rewaskularyzacji mięśni sercowego wykonano na 5 świniach (20-40 kg) [9]. Model kardiologiczny wykorzystywany do badań porównawczych chirurgii laparoskopowej i zrobotyzowanej typowo, z powodu dostępności materiału oraz właściwych cech anatomicznych, zawiera serce wieprzowe umieszczone w geometrii modelowej klatki piersiowej człowieka. W pracy [10] zaprezentowano 23 operacje wykonane między innymi w celu oceny wpływu na efekt operacji sposobu obserwacji (dwu - i trzypięciowym). W pracy [11] mamy próbę wykazania, że robotem można wykonać szycie w sposób równie dobry jak klasycznym narzędziem laparoskopowym (2 x 20 serc).

Kolejny etap badań klinicznych prowadzi do eksperymentów na zwłokach. Lulmet i inni [12] przedstawiają, że przed pierwszym na świecie klinicznym zastosowaniem robota wykonano 8 operacji „treningowych” dla zespołu chirurgicznego na zwłokach.

Ruuruda i inni [13] opisują badania skuteczności wykonania robotem da Vinci zespołów naczyniowych na 30 świniach, z których 20 wykonano metoda laparoskopową a 10 dla porównania przez laparotomię. Dłużej wykonywano operacje metoda laparoskopową ale mechanicznie szwy były dobrej jakości (co sprawdzono po 14 dniach).

Robota można wykorzystywać również do obecnie tak szybko rozwijanych metod operacji wykonywanych przez otwory naturalne ciała tzw. NOTES. Jednym z przykładów jest zastosowanie robota da Vinci S (4 ramiona) do operacji nefrologicznej [14] – również testowych w eksperymencie na świni z pozytywnym skutkiem.

Istotą teleoperatorów jest możliwość operacji na odległość. W pracy [15] opisano eksperyment teleoperacji nefrologicznej za pomocą robota da Vinci na 4 świni – przeprowadzono z sukcesem operacje w której chirurga od pacjenta dzielił dystans 1300 i 2400 mil. Opóźnienie sygnału, główny czynnik wpływający na możliwość prowadzenia teleoperacji zawarł się w granicach 450-900 ms.

6. ROBIN HEART - PLAN POLSKICH EKSPERYMENTÓW

Ścieżka dojścia do wdrożenia klinicznego nowych zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych powinna prowadzić od eksperymentów laboratoryjnych na stanowiskach komputerowych (wirtualna sala operacyjna) przez laboratoryjne eksperymenty i trening na modelach zawierających tkanki naturalne (np. serca wieprzowe) do eksperymentów 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. Historia wdrożenia klinicznego dwóch robotów amerykańskich Zeus (już wycofany z rynku) i da Vinci wskazuje, że standardem jest wykorzystanie w fazie laboratoryjnej serc wieprzowych oraz w fazie eksperymentów na zwierzętach: świni domowej lub psów. Zaplanowany przez nas eksperyment dotyczy przeprowadzenia trzech zupełnie różnych procedur na pojedynczych zwierzętach. Eksperymenty są tak przemyślane by w sumie stanowiły szeroki przegląd możliwości, wad i zalet opracowywanego systemu chirurgicznego. Na podstawie analizy osiągniętych wyników podejmiemy określone decyzje dotyczące potrzeby wprowadzenia modyfikacji i zmian w systemie Robin Heart oraz koniecznego zakresu badań eksperymentalnych przedklinicznych na zwierzętach.

Plan naszego eksperymentu obejmuje kilka faz;

- I. ćwiczenia laboratoryjne wykonania wszystkich procedur chirurgicznych. Robot przeszedł już testy laboratoryjne oraz był poddawany ocenie w czasie kilku warsztatów chirurgicznych. zebrane doświadczenia i oceny potwierdzają jego skuteczność. W ciągu miesiąca zostanie wykonana seria treningowych sesji wszystkich planowanych zabiegów na modelu laboratoryjnym, w tym – na tkankach zwierzęcych (serca wieprzowe), w warunkach zbliżonych do sposobu prowadzenia eksperymentu na zwierzętach a także w warunkach modelujących docelową sytuację kliniczną. W sesjach przygotowanych w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii będą uczestniczyli wszyscy operatorzy – chirurdzy oraz zespół anestezyjologiczny, pielęgniarzy i towarzyszący zespół techniczny. Po osiągnięciu właściwej sprawności operatorów oraz potwierdzenia przez nich możliwości przeprowadzenia zabiegu za pomocą testowanego sprzętu przystąpimy do eksperymentów właściwych w Centrum Medycyny Doświadczalnej SUM w Katowicach.
- II. montaż systemu Rrobin Heart i testy techniczne w sali operacyjnej CMD (1 dzień).

III. eksperymenty na zwierzętach (3 dni)

Celem projektu jest przetestowanie prototypowych zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych na zwierzętach i określenie ich własności funkcjonalnych dla wykonania typowych zabiegów chirurgicznych.

Zakres aplikacji robotów chirurgicznych (obecnie - amerykański robot da Vinci) obejmuje takie zabiegi jak: cholecystektomia, splenektomia, resekcja woreczka żółciowego, operacje prostaty, operacje kardiochirurgiczne i ginekologiczne.

Na podstawie naszej wiedzy o zakresie stosowania robotów dokonaliśmy wyboru reprezentatywnych eksperymentów:

1. usunięcie pęcherzyka żółciowego (od takiej operacji zaczęła się historia zrobotyzowanej chirurgii w 1997 r.)
2. pomostowanie aortalno-wieńcowe na bijącym sercu z użyciem robota chirurgicznego (TECAB) – tzw. bajpasy.
3. operacje zastawki mitralnej (od nich zaczęła się historia zrobotyzowanej kardiochirurgii w 1998 r.)

Wszystkie trzy zabiegi chirurgiczne zostaną poprzedzone premedykacją i znieczuleniem ogólnym opisanym w określonej procedurze. Zwierzęta zostaną przygotowane odpowiednio przez zespół weterynaryjny i pielęgniarski. Zostaną podane odpowiednie leki, po zwiotczeniu wykonana zostanie intubacja, podłączenie znieczulenia wziewnego.

Pierwszy eksperyment, najprostszy technicznie, zostanie wykonany w jamie brzusznej świni – obejmuje usunięcie pęcherzyka żółciowego. Zostanie za pomocą robota wypreparowany przewód żółciowy wspólny i tętnicy pęcherzykowej we wnęce wątroby. Następnie zostanie wykonane zamknięcie obu struktur klipsami metalowymi i odcięcie. Pęcherzyk żółciowy zostanie usunięty przez jedno z nacięć na zewnątrz, następnie zostanie dokonana kontrola hemostazy, desuflacja i zamknięcie nacięć szwami pojedynczymi.

Drugi eksperyment jest jednym z najciekawszych – potencjalnie związany z największą liczbą operacji, która jest do wykonania robotem. Dotyczy wykonania wszycia tzw. bajpasu na bijącym sercu (bez krążenia pozaustrojowego). Znieczulenie ogólne zwierzęcia nieco różni się od typowej procedury ponieważ będzie tu użyta dwuświatłowa rurka intubacyjnej ze względu na konieczność czasowego wyłączenia lewego płuca na czas zabiegu. „Opuszczenie” jednego płuca wytworzy przestrzeń nad sercem w której mogą operować narzędzia. W czasie

zabiegu wykonywana jest insuflacja CO₂ do jamy opłucnowej (ciśnienie ok. 3-5 mmHg z szybkością przepływu 6-8 l/min), która pozwala na utrzymanie tej przestrzeni operacji. Następnie wykonane zostaną przez chirurgów 3 nacięcia skóry ok. 5-10 mm w 3,5,7 przestrzeni międzyżebrowej po stronie lewej i wprowadzone zostaną narzędzia robota oraz endoskop (właściwe zorientowanie ramion robota przy stole operacyjnym i pacjencie). Pod kontrolą wizualizacji endoskopowej zostanie przy pomocy sterowanego przez chirurga-operatora robota pobrana tętnica piersiowa wewnętrzna lewa i wykonane zespolenia tętnicy piersiowej wewnętrznej z tętnicą międzykomorową przednią.

Trzeci i ostatni eksperyment dotyczy operacji zastawki mitralnej – anatomia serca człowieka (i świni) klatki piersiowej pozwala na znakomite uwidocznienie tej zastawki i dojście przez otwór w odpowiedniej przestrzeni międzyżebrowej. Dodatkowa trudność zabiegu jest związana z potrzebą stosowania krążenia pozaustrojowego – mechanicznej pompy i oksygatora (natleniacza krwi), zestawu który umożliwi wykonanie operacji na otwartym sercu. Znieczulenie podobnie jak w poprzedniej procedurze. W pierwszej fazie pod kontrolą wizualizacji endoskopowej zostanie nacięty prawy przedsionek i uwidoczniiona zastawka trójdzielna. Plastyka zastawki trójdzielnej polega na jej stabilizacji miękkim pierścieniem Carpentier-Edwards za pomocą pojedynczych szwów. Kończy tą fazę eksperymentu zamknięcie przedsionka szwem ciągłym. Przewidziano również wykonanie w uzyskanej przestrzeni roboczej operacji model ASD (zamknięcie otworu w przegrodzie międzyprzedsionkowej) oraz odtworzenie uszkodzonych w wyniku choroby nici ścięgniastych aparatu zastawkowego za pomocą sztucznych nici goretexowych. Wszystkie zwierzęta zostaną po zakończeniu zabiegu poddane eutanazji.

7. PODSUMOWANIE

Przygotowywany do badań klinicznych zrobotyzowany system Robin Heart obejmuje zarówno system planowania, system szkoleniowy i program ekspertowy oraz telemanipulatory i automatyczne narzędzia chirurgiczne. Rozpocniemy przygotowania do wdrożenia robota Robin Heart Vision, który służy do kontroli położenia toru endowizyjnego. W 2003 r. na zakończenie pierwszego etapu prac nad polskim robotem złożyliśmy wniosek (kierownik: prof. Z. Religa) i uzyskaliśmy zgodę (nr 29/03) na wykonanie eksperymentów w zakresie, o który występujemy obecnie. Obecnie dysponujemy pełnym wyposażeniem (3 ramiona robotów)

umożliwiającym wykonanie zaplanowanych badań. W eksperymencie sprawdzimy również oryginalną koncepcję stosowania narzędzi systemu Robin Heart Uni System, który umożliwia przełożenie narzędzia z robota do specjalnego uchwytu ręcznego.

Ocena praktycznych możliwości systemu pozwoli na wyciągnięcie wniosków dotyczących wprowadzenia odpowiednich zmian w projekcie robota Robin Heart oraz określenia pełnego programu badań przedklinicznych. Zainteresowanych obszerniejszą informacją nt. badanego systemu telemanipulatora chirurgicznego Robin Heart odsyłam uprzejmie do literatury [16-20] lub książki: Roboty Medyczne red. Zbigniew Nawrat, dostępnej na stronie www.robinheart.pl.

Rodzina polskich robotów Robin Heart ma szansę stać się powszechnie stosowanym przez chirurgów wysokiej klasy systemem technicznym i telemedycznym umożliwiającym wykonywanie części operacji w sposób mniej inwazyjny, precyzyjny, bezpieczny dla pacjenta i chirurga.

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 wszystkim uczestnikom grantu, naukowcom i studentom, za wkład w realizację projektu.

LITERATURA

- [1] Primer of robotic&telerobotic surgery. Ed. G.H.Ballantyne, J.Marescaux, P.C.Giulianotti Lippincott Williams&Wilkins 2004. The Zeus Telerobotic System. J.Marescaux, F.Rubino, p61-65
- [2] Lomanto D., Cheah WK, So JB, i inni. Robotically assisted laparoscopic cholecystectomy: a pilot study. Arch Surg 2001; 136:1106-1108
- [3] Zhu JF, Nahouraii R, Rubino F, I inni. Robotic-assisted laparoscopic cholecystojejunostomy. Minine Invasive Ther Allied Technol 2001; 10:83-88
- [4] Hollands CM, Dixey N, Toma MJ. Technical assessment of porcine enteroenterostomy performed with ZEUS robotic technology. J.Pediatr Surg 2001;36:1231-1233
- [5] Hollands CM, Toma MJ, Dixey LN. Laproscopic cholechotomy and repair using Zesu robotic technology. Surg Endosc 2001;15:S132(abst)
- [6] Rubino F, Nahouraii R, Deutsch H, I inni. Endoscopic approach for carotid aretery surgery. Surg Endosc 2002;16:789-794
- [7] Margossian H, Garcia-Ruiz A, Falcone T, I inni. Robotically assisted laparoscopic microsurgical uterine horn anastomosis. Fertl Steril 1998;70:530-534
- [8] Dieter H. Boehm, MD, PhD^a, Hermann Reichenspurner, MD, PhD^a, Helmut Gulbins, MD^a, Christian Detter, MD^a, Bruno Meiser, MD^a, Paolo Brenner, MD^a, Helmut Habazettl, MD^b, Bruno Reichart, MD^a Early experience with robotic technology for coro-

- nary artery surgery *Ann Thorac Surg* 1999;68:1542-1546, Supplement: Minimally Invasive Cardiac Surgery.
- [9] Izutani H, Gill IS, Svanidze O Robotically assisted endoscopic transmyocardial laser revascularization. *Can J Cardiol*. 2004 Jul;20(9):907-9.
 - [10] Boyd WD, Desai ND, Kiaii B, Rayman R, Menkis AH, McKenzie FN, Novick RJ. A comparison of robot-assisted versus manually constructed endoscopic coronary anastomosis. *Ann Thorac Surg*. 2000 Sep;70(3):839-42; discussion 842-3
 - [11] Falk V, Gummert JF, Walther T, Hayase M, Berry GJ, Mohr FW Quality of computer enhanced totally endoscopic coronary bypass graft anastomosis-comparison to conventional technique. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1999 Mar;15(3):260-4; discussion 264-5.
 - [12] Didier Loulmet, MD, Alain Carpentier, MD, PhD , Nicola d'Attellis, MD, Alain Berrebi, MD, Cyril Cardon, MD, Olivier Ponzio, MD, Bertrand Aupčcle, MD, John Y. M. Relland, MD ENDOSCOPIC CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING WITH THE AID OF ROBOTIC ASSISTED INSTRUMENTS *Thorac Cardiovasc Surg* 1999;118:4-10
 - [13] J.P. Ruurda and I.A.M.J. Broeders Robot-assisted laparoscopic intestinal anastomosis. *Surgical Endoscopy Volume 17, Number 2 / February, 2003* 236-241
 - [14] BOX Geoffrey N.; LEE Hak J.; SANTOS Ricardo J. S.; ABRAHAM Jose Benito A.; LOUIE Michael K.; GAMBOA Aldrin Joseph R.; ALIPANAH Reza; DEANE Leslie A.; MCDUGALL Elspeth M.; CLAYMAN Ralph V. ; Rapid Communication Robot-Assisted NOTES Nephrectomy : Initial Report *Journal of endourology* 2008, vol. 22, n°3, pp. 503-506
 - [15] [My paper] Joseph R Sterbis, Eric J Hanly, Barry C Herman, Michael R Marohn, Timothy J Broderick, Samuel P Shih, Brett Harnett, Charles Doarn, Noah S Schenkman Transcontinental Telesurgical Nephrectomy Using the da Vinci robot in a Porcine Model. *Urology*. 2008 Feb 22; : 18295861 (P,S,G,E,B,D)
 - [16] Z.Nawrat; P. Kostka; W. Dybka, K. Rohr: „*Nowatorskie półautomatyczne narzędzia laparoskopowe Robin Heart Uni Tools*”. PAR Pomiary Automatyka Robotyka. Miesięcznik Naukowo- Techniczny; nr 2/2008. str. 718-728
 - [17] Z.Nawrat; W. Dybka; P. Kostka; K. Rohr: „*Konsola sterowania robotem chirurgicznym Robin Heart*”. PAR Pomiary Automatyka Robotyka. Miesięcznik Naukowo- Techniczny; nr 2/2008. str. 708-717
 - [18] Z. Nawrat; P. Kostka: „*Robin Heart – perspectives of application of mini invasive tools in cardiac surgery*”. *Medical Robotics*. Ed. V.Bozovic. I-Tech, Croatia, 2008, ISBN 978-3-902613-18-9., str. 265-291.
 - [19] Z. Nawrat; P. Kostka: “ *The Robin Heart Vision, telemanipulator for camera holding preliminary test results*”. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, volume1, No. 1, April 2007, str.48-53
 - [20] Z. Nawrat; M. Koźlak: „ *Robin Heart system modelling and training in virtual reality*”. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*. Vol. 1, Number 2, June 2007. str. 62-66.