

dr Zbigniew Nawrat
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze
dr inż. Paweł Kostka
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze
Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Elektroniki
mgr inż. Wojciech Dybka
mgr Wojciech Sadowski
mgr inż. Kamil Rohr
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze

NOWE MECHATRONICZNE NARZĘDZIA CHIRURGICZNE ROBIN HEART UNI SYSTEM

Współczesna medycyna rozwija się w znacznej mierze dzięki zastosowaniu najnowszych osiągnięć nauk ścisłych, wdrażaniu nowych metod, technik i technologii. Artykuł stanowi próbę przeglądu kierunków rozwoju narzędzi stosowanych w chirurgii małoinwazyjnej ze specjalnym uwzględnieniem najnowszych doświadczeń własnych – projektu Robin Heart Uni Tools.

THE ROBIN HEART UNI SYSTEM MECHATRONIC SURGICAL TOOLS

Present medicine develops in considerable measure thanks to the use of newest achievements of sciences as well as new methods, techniques and technologies introduction. Presented article is the review of directions of surgery tools development used in mini invasive surgery with special regard of own, currently performed experiences arrangement – project Robin Heart Uni Tools.

1. WPROWADZENIE

Obecnie bardzo silnie rozwijają się mniej inwazyjne metody operacji chirurgicznych. Dzięki tego typu operacjom pacjenci szybciej powracają do zdrowia i aktywności życiowej, operacje związane są z mniejszym urazem tkanek, mniej jest krwawienia, różnych komplikacji, bólu. Możliwości przeprowadzenia małoinwazyjnego zabiegu chirurgicznego są w znacznym zakresie uzależnione od stosowanego instrumentarium. Poprawę ergonomiczności i precyzji (szczególnie istotnej podczas operacji na bijącym sercu) można uzyskać dzięki rozwijaniu nowych narzędzi mechatronicznych: robotów i półautomatycznych narzędzi chirurgicznych. Obecnie trwają w FRK prace w obszarze badawczym „Roboty i Innowacyjne Narzędzia Chirurgii” celu opracowywania i wdrożenia klinicznego innowacyjnego systemu narzędzi dla chirurga. Zakres prowadzonych działań obejmuje zarówno mechatroniczne urządzenia przedłużające ręce operującego w sposób mniej inwazyjny pacjenta (roboty, półautomatyczne

narzędzia) jak i zastosowanie wszystkich metod modelowania i symulacji dla optymalizacji przebiegu i efektu operacji chirurgicznej oraz zaplecze dydaktyczne (stanowiska i metody treningowe chirurgów, telekonsultacje). Dobra i rzeczowa współpraca interdyscyplinarnego zespołu naukowo-badawczego z lekarzami jest jednym z silnych argumentów prowadzonych projektów.

Celem naszego projektu jest upowszechnienie zdobyczy technologicznych ostatnich lat w postaci dostępnych szeroko narzędzi nowej generacji. W wyniku pracy w projekcie powstaną nowej klasy zunifikowane, wielozadaniowe narzędzia o wysokiej funkcjonalności pozwalające na usprawnienie sposobu prowadzenia zabiegów chirurgicznych na narządach wewnętrznych miękkich, głównie dla układu sercowo-naczyniowego. Opisany projekt jest kolejnym krokiem w celu uruchomienia produkcji w Polsce oryginalnego systemu, rodziny nowoczesnych urządzeń wspomagających pracę chirurga w czasie operacji małoinwazyjnych. Rynek stale się rozwija, obecnie takich operacji rocznie robi się ponad cztery miliony na całym świecie.

2. PROJEKTOWANIE

W fazie projektowania wykorzystujemy wszystkie klasyczne narzędzia sztuki inżynierskiej. Jednak specyfika opracowywanych urządzeń wymaga wymaga ściślejszej konsultacji z odbiorcami, przyszłymi użytkownikami narzędzi. Doskonalimy język współpracy z lekarzami rozwijając wirtualną salę operacyjną wykorzystującą technologie wizualizacji trójwymiarowej projektowanych narzędzi w przestrzeni modelowej operacji (pacjent, sala operacyjna). Z drugiej strony wszystkie nasze urządzenia są testowane w czasie organizowanych warsztatów chirurgicznych, gdzie na przygotowanych modelach fizycznych mogą być porównane z klasycznymi i laparoskopowymi narzędziami i technikami operacji.

Opracowane narzędzia, z definicji jako narzędzia chirurgiczne, przeznaczone są do wykonywania precyzyjnej pracy o charakterze mechanicznym w celu dokonania odpowiedniej modyfikacji w układzie krążenia, sercu czy innym elemencie organizmu pacjenta zmienionym przez rozwój choroby (lub występująca jako wada wrodzona). Ich charakterystyczną cechą jest jednak, w przypadku operowania przez niewielkie otwory w ciele pacjenta (operacje małoinwazyjne), brak odpowiedniej, bezpośredniej widoczności operowanego organu oraz upośledzenie lub zupełna utrata czucia w zetknięciu z organem dłoni za pośrednictwem posiadanych narzędzi. Zarówno wymagania ergonomii, bezpieczeństwa jak i zwiększonej potrzeby

precyzji operowania wymagają zastosowania nowych technologii i środków technicznych dla ich realizacji. Narzędzia nie mogą być w pełni mechaniczne co do istoty konstrukcji. Nasze projekty stanowią zaawansowaną próbę wprowadzenia elementów mechatronicznych (mechaniczno-elektroniczno-informatycznych) co w praktyce sprowadza się do stosowania elektro-napędów oraz odpowiednio oprogramowanych procesorów do sterowania niektórymi funkcjami narzędzi, lub też – globalnie - do wprowadzenia robotów do chirurgii. Dosłownie w ręku chirurga pozostaje przekaz decyzji o wykonaniu określonego zadania dla narzędzia natomiast efekt ruchu i realizacji zadania wykonywany jest za pośrednictwem skomplikowanego układu elektromechanicznego z nadzorem układu sterowania.

Jednym z istotnych elementów strategii projektowania narzędzi jest nie tylko wiedza na temat samego zadania, w tym np. oddziaływania narzędzi na tkanki ale też ścisłą współpracą i zrozumieniem specyfiki doświadczenia chirurga. To od niego, jego sprawności i wiedzy zależy efekt końcowy operacji, to on jest klientem, który zdecyduje o zakupie i zakresie stosowania projektowanych narzędzi.

W chirurgii endoskopowej chirurg ogląda anatomię od wewnątrz dzięki kamerze kontrolowanej przez asystenta. Przestrzeń wzrokowa i motoryczna nie są spójne a odczucie dotyku (sprężenie siłowe) jest zubożone co komplikuje typową scenę chirurgiczną, wywołuje trudności w percepcji przestrzennej, szczególnie przy identyfikacji granic anatomicznych podczas posługiwania się kamerą i instrumentami. Głównym zadaniem teleoperacyjnej stacji roboczej, do dziś jeszcze nie zrealizowanym zadawalająco jest przywrócenie zdolności manipulacyjnych i czuciowych chirurga, które zostały odebrane wskutek zastosowania chirurgii minimalnie inwazyjnej. Efekt ten możemy uzyskać dzięki zastosowaniu manipulatora o sześciu stopniach swobody, posiadającego dwie pętle sprzężenia zwrotnego - sprzężenie zwrotne siły i sprzężenie zwrotne dotyku.

W konwencjonalnym narzędziu laparoskopowym dostępny jest zakres ruchomości określany przez cztery stopnie swobody (nie wliczając ruchu końcówki wykonawczej):

- Translacja wzdłuż trzonu narzędzia
- Obrót wokół osi translacji
- Ograniczone wychylenia w płaszczyźnie

Większe możliwości są osiągnane przez narzędzia zrobotyzowane.

3. ROBIN HEART UNI SYSTEM

Gwałtowny rozwój mniej inwazyjnych technik chirurgicznych, które zastępują wiele zabiegów przeprowadzanych do tej pory metodami klasycznymi, jest wynikiem oczekiwań pacjentów i wymagań jakie stawiają lekarze. Pacjenci poddani operacji małoinwazyjnej są mniej narażeni na ból, skraca się również czas rekonwalescencji a przy wsparciu innowacji technicznych i wzroście doświadczenia chirurga – również skraca się czas operowania.

Skuteczność prowadzenia takich zabiegów w znacznej mierze zależy od narzędzi. Wymagania jakie stawia metoda nie powinny zmniejszać precyzji operowania. Robot chirurgiczny pokonał ograniczenia tradycyjnych przyrządów endoskopowych, które mają tylko cztery stopnie swobody (*DOF*). Niektóre ze stosowanych narzędzi wykonawczych robotów mają obecnie 5-6 stopni swobody oraz dodatkowo pewne możliwości wykonywania złożonych, oprogramowanych ruchów. Roboty mają wymienne narzędzia stosowane w zależności od potrzeb – noże harmoniczne, kleszczyki itp. Tak zwane szybkozłącze powinno umożliwić szybką wymianę narzędzia przez asystenta oraz zapewnić możliwość sterylnego połączenia „czystego” narzędzia ze stałym ramieniem robota.

Innowacyjne narzędzia laparoskopowe wykorzystują rozwiązania mechatroniczne ułatwiając wykonanie zadania lub wykonując zadanie automatycznie. W trakcie prowadzenia zabiegów małoinwazyjnych wzrasta rola urządzeń, mechanizmów ułatwiających wykonywanie niektórych fragmentów operacji. Do łączenia elementów tkankowych i sztucznych do układu krążenia stosowanych jest szereg narzędzi opartych na różnych, półautomatycznych metodach: klipsownice, staplery i inne zszywacze.

Ważnym elementem naszego projektu jest opracowanie odpowiednich technologii materiałowych wspierających celowo uzyskanie określonych efektów, zjawisk fizycznych czy biochemicznych – związanych z wymogami leczenia (np. uwalnianie określonych leków) lub techniki inżynierskiej (np. zmniejszenie tarcia, zwiększenie trwałości mechanicznej lub uzyskanie odpowiedniego izolacji elektrycznej).

Celem projektu jest zbadanie zupełnie nowej idei, zarówno w zakresie konstrukcji jak i algorytmów sterowania: uniwersalnych narzędzi do operacji małoinwazyjnych, które można zamocować na ramieniu robota lub też, umieszczone w specjalnym uchwycie, stosować jako półautomatyczne manualne narzędzie laparoskopowe. Opracowane narzędzia są napędzane elektrycznie, ich nowością jest możliwość wyboru zamocowania albo na ramieniu robota albo

w specjalnych uchwytach wyposażonych w laparoskopowe zadajniki ręczne i prowadzenie operacji ręcznie bez użycia robota. Podstawową zaletą w takim zastosowaniu będzie wytworzenie potrzebnych przy operacji funkcji manipulacyjnych narzędzia niemożliwych do bezpośredniego zadawania przez operatora w rozwiązaniach klasycznych narzędzi laparoskopowych.

Do prowadzenia operacji metodami małoinwazyjnymi konieczne jest w zakresie pracy narzędzi:

- preparowanie tkanek,
- podwiązywanie przewodów, naczyń i odciętych swobodnych krawędzi tkanek (klipsowanie),
- przecinanie przewodów, naczyń i tkanek narządów,
- usuwanie fragmentów tkanek i narządów,
- szycie tkanek.

W wyniku pracy w projekcie powstają modele zupełnie nowej klasy wielozadaniowych narzędzi o wysokiej funkcjonalności pozwalających na usprawnienie sposobu prowadzenia zabiegów operacyjnych na narządach wewnętrznych miękkich, zarówno z użyciem robotów jak i sterowanych ręcznie.

W Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii przeprowadzono badania fizyczne różnych elementów operacji. Określono siły działające podczas zaciągania węzła, cięcia skalpelem czy też wbijania igły [1]. Zaprojektowano konkretne elementy napędowe mechanizmów i dokonano analizy wytrzymałościowej napędów. Zaprojektowano końcówki laparoskopowe z odpowiednimi mechanizmami napędowymi, które mogą stanowić część końcową każdego ze skonstruowanych wcześniej napędów. We współpracy z Politechniką Łódzką powstają narzędzia z wymiennymi końcówkami, we zespole zabrzańskim – próbujemy szukać tanich technologii produkcji wielorazowych narzędzi zautomatyzowanych oraz elementów zszywających. Opracowana i zrealizowana pilotażowo procedura wytwarzania prototypowych i modelowych końcówek narzędzi, obejmuje:

- A. Projekt narzędzia w środowisku CAD (Inventor 2008)
- B. Komputerowy wydruk na drukarce 3D (woskowy)
- C. Odlew pod ciśnieniem metodą traconego wosku ze stali biokompatybilnej stosowanej w stomatologii (pod korony protez zębowych)
- D. Obróbka mechaniczna (frezowanie, wiercenie, szlifowanie, polerowanie)

Wykonano nowe narzędzie o znacznie podwyższonej ergonomiczności i funkcjonalności. Składa się ono z odpowiednio ukształtowanej rączki, w której w sposób wygodny można sterować dwoma przyciskami (lub przyciskiem i tzw. mikrodojstikiem kulowym o dwóch stopniach swobody z możliwością uruchomienia przycisku) palcem wskazującym i palcem środkowym oraz pokrętła lub mikrodojstika uruchamianego kciukiem. Opracowany uchwyt spełnia ważne założenie – umożliwia utrzymanie w dłoni stosunkowo ciężkich pierwszych modeli automatycznych narzędzi. Jest kompromisem pomiędzy możliwością wygodnego operowania palcami oraz możliwością sprawnego orientowania narzędzia podczas operacji. Na podstawie projektu wykonano metodą szybkiego prototypowania wykonano uchwyt [Rys.1]. Ukształtowanie uchwytu przez otoczenie dłoni sterującego tworzy efekt, który odczuwany jest przez operatora jako pewność, że stabilnie „leży” w dłoni ale umożliwia pełny zakres kątowy orientacji w przestrzeni. Objętość uchwytu pozwala na schowanie we wnętrzu układów elektroniczno-napędowych, procesorów, akumulatorów itp. Uchwyt umożliwia za pomocą tzw. szybkozłączki zamontowanie narzędzia które może być zamontowane również na ramieniu robota. Narzędzie w wersji podstawowej, testowej posiada dwa stopnie swobody: zacisk-otwarcie szczęk oraz zmiana kątowej orientacji końcówki narzędziowej.



Rys. 1. Projekt narzędzia Robin Uni System 1

Wybrane stopnie swobody półautomatycznego narzędzia Robin Uni System napędzane są modułami zawierającymi silniki bezszczotkowe rodziny EC6 (średnica zewn. 6 mm) szwajcarskiej firmy Maxon, przekładnie planetarne oraz elementy toru sterowania: czujniki Halla, przetworniki obrotowo/impulsowe oraz sterowniki niskiego poziomu EPOS. Moduły napędowe podłączone są równolegle do magistrali CAN, gdzie przesyłane są rozkazy sterujące pracą systemu z centralnej jednostki sterowania opartej na tym etapie rozwoju projektu, na jednostce National Instrument (magistrala PXI), pracującej w systemie czasu rzeczywistego, wyposażonej w kartę PXI pełniącą funkcję modułu CAN Master. Zaawansowana karta FPGA

(RIO) spełnia funkcję akwizycji sygnałów wejściowych systemu oraz sprzętowego ich przetwarzania co zapewnia odpowiednią synchronizację pracy całego systemu sterowania i wypracowywania danych dla modułu wyjściowego CAN.

Użycie tak zaawansowanej platformy sprzętowej na etapie uruchamiania i weryfikacji podstawowych założeń projektu Robin Uni System prócz zapewnienia podstawowej funkcjonalności, umożliwi również istotny monitoring parametrów wewnętrznych systemu, istotnych dla oceny działania i dalszej optymalizacji systemu sterowania, którego finalna implementacja planowana jest na znacznie prostszym ale wystarczającym mikrokontrolerze 16-bitowym.

4. WNIOSKI

Współczesne techniki operacyjne stały się w znacznym zakresie uzależnione od instrumentarium, technicznego uzbrojenia stanowiska operacyjnego. Opracowane w ostatnim okresie narzędzia endoskopowe i wypracowane techniki laparoskopowe otworzyły nowe możliwości prowadzenia operacji, zupełnie nieznane w dotychczasowej chirurgii klasycznej.

Opracowano nowe, mechatroniczne wielofunkcyjne narzędzie w ramach projektu Robin Heart Uni System.

Przedmiotem testów laboratoryjnych będzie komplet innowacyjnego uchwytu z narzędziem o dwóch oraz czterech stopniach swobody. Narzędzia będą przetestowane w styczniu 2009 r. podczas pierwszych testów na zwierzętach systemu robota Robin Heart.

Autorzy mają nadzieję, że stworzą nowy standard, wygodnych, sprawnych, popularnych narzędzi dla chirurgii miniinwazyjnej.

LITERATURA

[1] Z. Nawrat, P.Kostka, W.Dybka, K.Rohr. „Nowatorskie półautomatyczne narzędzia laparoskopowe ROBIN HEART UNI TOOLS.” XII Konferencja Naukowo-Techniczna Automatykacja - Nowości i Perspektywy, 2008, Warszawa. PAR – Pomiary Automatyka Robotyka. Miesięcznik Naukowo-Techniczny. 2/2008

Podziękowania: *Projekt Robin Heart Uni System jest realizowany w ramach projektu rozwojowego Nr R13 033 01, Projekt robota Robin Heart był finansowany w ramach projektu badawczego KBN 8 T11E 001 18, przez Fundację Rozwoju Kardiologii i wielu sponsorów. Autorzy dziękują wszystkim, którzy przyczyniają się do powstania opracowywanych innowacyjnych narzędzi chirurga, w szczególności grupę studentów i absolwentów przygotowujących prace dyplomowe i doktorskie we współpracy z naszym ośrodkiem.*