

Instrumenty EndoWrist® stosowane w systemie robotowym da Vinci

DOMINIKA SZUBERLA,
ROMAN SOSNOWSKI,
ADAM GRUDZIŃSKI,
MONIKA
NEKANDA-TREPKA,
TOMASZ BORKOWSKI,
TOMASZ JAKUBCZYK,
JERZY DRAUS

Postęp w zakresie technik zabiegowych niewątpliwie odegrał istotną rolę w poprawie wyników leczenia. Jednym z istotnych elementów tego postępu jest rozwój i udoskonalanie narzędzi operacyjnych, polegające między innymi na ich miniaturyzacji czy poprawie precyzji i swobody w manewrowaniu.

Przedruk z Przegląd Urologiczny 3/2022 s.15-20.

Dziedzinami medycznymi, w których w szczególności sposób obserwujemy wpływ technologii na postęp chirurgii, niewątpliwie są urologia, ginekologia oraz chirurgia końcowego odcinka przewodu pokarmowego [1, 2]. Rozwój tzw. technik minimalnie inwazyjnych (minimally invasive surgery – MIS), których dobrym przykładem jest laparoscopia, w wyżej wymienionych dziedzinach medycznych, a w szczególności w zabiegach onkologicznych, w istotny sposób przyczynił się do ograniczenia działań niepożądanych oraz usprawnił rekonwalescencję chorych. Kolejnym „krokiem milowym” w rozwoju MIS było wdrożenie technologii z udziałem systemów robotowych. Rozwój tej techniki miał za zadanie przeciwdziałać ograniczeniom wynikającym w laparoskopii z np. niepełnego zakresu swobody ruchów narzędzia chirurgicznego, nieergonomicznej pozycji operatora, drżenia dłoni czy długiej krzywej nauki, ale także umożliwić pracę „na odległość”, co początkowo w szczególności sposób dedykowane było medycynie wojskowej [3].

Pod koniec ubiegłego wieku wprowadzenie systemu robotowego da Vinci (Intuitive Surgical, USA) spowodowało szersze wykorzystanie MIS w urologii, ginekologii oraz chirurgii końcowego odcinka przewodu pokarmowego. Wzrost liczby wykonywanych procedur chirurgicznych oraz instalacji systemów robotowych na świecie odzwierciedla potrzeby chirurgów w zakresie precyzji preparowania tkanek, obrazowania trójwymiarowego oraz ergonomicznej postawy ciała [4].

System robotowy da Vinci składa się z trzech komponentów: konsoli chirurga (*Surgeon Console*), wózka pacjenta (*patient cart*) oraz kolumny z torem wizyjnym (*Vision Cart*) (ryc. 1). Wśród najważniejszych elementów wchodzących w skład opisywanego systemu da Vinci należy ponadto wymienić: przeglądarkę 3D HD, dwa manipulatory, cztery uniwersalne

ramiona zamontowane na regulowanym wysięgniku (*Boom*), narzędzia EndoWrist®, dotykowy zewnętrzny monitor, generator ERBE VIO dv oraz kontroler endoskopu. Wszystkie elementy stanowią integralną strukturę całego systemu robotowego.

Brak pełnej swobody zakresu ruchów narzędzi chirurgicznych w laparoskopii stanowi jedno z jej najważniejszych ograniczeń. Przeprowadzenie zabiegu laparoskopowego wymaga bardzo precyzyjnego umiejscowienia portów, okresowej konieczności zmiany położenia narzędzi pracujących (zmiana portów), konieczności zmiany „prowadzącej” dłoni (np. zmiana położenia igły w imadle podczas szycia z jednego do drugiego narzędzia laparoskopowego) [5, 6].

Chcąc sprostować wyżej wymienionym ograniczeniom, opracowano narzędzia System EndoWrist® (ryc. 2). To unikalne rozwiązanie systemu robotowego da Vinci pozwala na naśladowanie ruchu dłoni ludzkiej z wykorzystaniem siedmiu zakresów swobody elementu pracującego. Praca narzędzia chirurgicznego niejako jest odzwierciedleniem zmiany położenia ręki chirurga.

Dokładna znajomość rozwiązań technicznych systemu robotowego da Vinci pozwala na wykorzystanie wszystkich dostępnych możliwości technologicznych, ułatwia posługiwanie się narzędziami, zapewnia bezpieczną pracę oraz właściwą integrację z danymi klinicznymi (np. informacje pochodzące z badań obrazowych) [7].

Poniżej przedstawiamy najważniejsze informacje dotyczące systemu narzędzi operacyjnych EndoWrist®. Wśród najważniejszych zalet tego rozwiązania technicznego niewątpliwie należy wymienić możliwość zgięcia narzędzia pracującego, np. nożyczek, imadła czy graspera. Na rycinie 3 przedstawiono możliwe płaszczyzny swobody ruchów narzędzia laparoskopowego i EndoWrist®:

- Wprowadzenie (*Insertion; In-Out*): jest kierunkiem ruchu w osi długiej, który reguluje głębokość, na jaką wprowadzana jest końcówka instrumentu.
- Odchylenie zewnętrzne (*External Yaw*): ruch końcówki narzędzia „na boki” względem punktu obrotu (*Remote Center*) poprzez ruch ramienia instrumentu.
- Wychylenie zewnętrzne (*External Pitch*): ruch końcówki narzędzia „w górę i w dół” względem punktu obrotu (*Remote Center*), poprzez ruch ramienia instrumentu.
- Obracanie (*Roll; Rotation*): ruch obrotowy trzonu instrumentu wokół własnej osi centralnej.
- Odchylenie wewnętrzne (*Internal Yaw*): obrót końcówki instrumentu „na boki” poprzez zgięcie w dystalnym przegubie nadgarstka instrumentu.
- Wychylenie wewnętrzne (*Internal Pitch*): obrót końcówki instrumentu „w górę i w dół” poprzez zgięcie w proksymalnym przegubie nadgarstka instrumentu.
- Chwytywanie (*Grip; Grasp*): otwieranie oraz zamykanie szczęk instrumentu.

Narzędzia EndoWrist® składają się ze: szczęk, nadgarstka, trzonu oraz obudowy z dyskami (ryc. 4). Ponadto zawierają dwa przyciski zwalniające, które służą do wyjmowania instrumentu, wskaźnik maksymalnego użycia – zmiana koloru elementu kontrolnego na czerwony oraz występujące w niektórych narzędziach gniazda diatermii monopolarnej i bipolarnej. Narzędzia zaopatrzone są w porty do przepłukiwania i czyszczenia wewnętrznych elementów instrumentu.

Istnieje wiele różnych narzędzi EndoWrist®, których budowa dedykowana jest do poszczególnych procedur chirurgicznych. Dostępne są instrumenty monopolarne oraz bipolarne, imadła, instrumenty retrakcyjne (chwytaaki), nożyczki, klipsownicy, narzędzia zamykające naczynia, ssak/irygator oraz ultradźwiękowy instrument energetyczny (ryc. 5). Przedstawione powyżej narzędzia mogą różnić się liczbą możliwych użyć, to tzw. żywotność narzędzia, która najczęściej wynosi od 10 do 18. Po wykorzystaniu danego narzędzia następuje automatycznie jego dezaktywacja. W czasie pracy systemu robotowego operator może skontrolować na ekranie, które narzędzie jest w danym momencie aktywne oraz w ilu zabiegach dany sprzęt może być jeszcze wykorzystany. Niektóre instrumenty, np. narzędzie zamykające naczynia (*vessel sealer*), są instrumentami jednorazowego użytku.

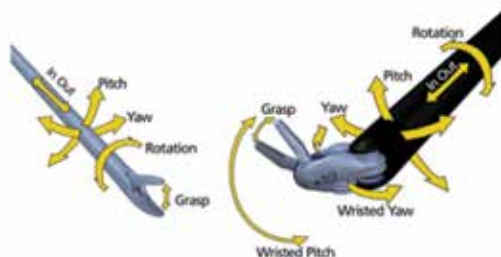
System da Vinci zapewnia eliminację drżeń rąk operatora (*tremor filtration system*). Rozwiązanie to pozwala na precyzyjne poruszanie narzędziami, co



Rycina 1. Trzy elementy systemu robotowego da Vinci: konsola chirurga, wózek pacjenta oraz kolumna z torem wizyjnym. Źródło: <https://www.synektik.com.pl/pl/oferta/da-vinci/o-systemie/>



Rycina 2. System EndoWrist® odwiercający zakres ruchów dłoni chirurga. Źródło: Palep JH: *Robotic assisted minimally invasive surgery. J Minim Access Surg* 2009 Jan; 5(1): 1–7. https://www.journalofmas.com/viewimage.asp?img=JMinAccessSurg_2009_5_1_1_51313_u3.jpg



Rycina 3. Zakres ruchów narzędzia pracującego: lewa strona – narzędzie laparoskopowe; prawa strona – EndoWrist®. Źródło: Stanley W: *Wireless Teleoperation Control Interface of Articulated Forceps for Minimally Invasive Surgery. Intelligent Robotics and Biomechanics Laboratory. School of Engineering. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, 2018* https://www.researchgate.net/publication/327561755_Wireless_Teleoperation_Control_Interface_of_Articulated_Forceps_for_Minimally_Invasive_Surgery



Rycina 4. Narzędzie EndoWrist®: prawa strona – końcówka pracująca. Całe narzędzie EndoWrist® składa się ze: szczęk, nadgarstka, trzonu oraz obudowy z dyskami. Źródło: materiał własny autorów



Rycina 5. Różne końcówki operacyjne EndoWrist®. Źródło: Da Vinci X/Xi Instrument & Accessory Catalogue, December 2021



Rycina 6. Skalowanie czułości ręcznych kontrolerów w stosunku do instrumentów. Źródło: https://www.researchgate.net/publication/236044306_Robotic_surgery_in_gynecology



Rycina 7. Manipulatory konsoli chirurgicznej (master tool manipulators – MTM). Źródło: materiał własny autorów

ma szczególne znaczenie w preparowaniu nerwów, drobnych naczyń czy szyciu nićmi o małej średnicy. Kolejnym ważnym elementem jest skalowanie ruchu (scale movement), które polega na filtrowaniu i zmianie zakresu ruchu narzędzia pracującego w różnych proporcjach w stosunku do ruchu dłoni (ryc. 6). I tak np. ruch dłoni chirurga o 3 cm przenoszony jest na ruch narzędzia o 1 cm. Zakres zmian (tzw. skalowanie) może być w proporcjach 1:1,5; 1:2 oraz 1:3.

Ruch końcówek instrumentów chirurgicznych odbywa się dzięki przełożeniu ruchów dłoni chirurga z ręcznych manipulatorów (Master Tool Manipulator – MTM) (ryc. 7) poprzez ramiona wózka pacjenta (ryc. 8) na dyski narzędzia EndoWrist® (ryc. 9). Po właści-

wym umiejscowieniu narzędzia w porcie ramienia, końcówki pracujące są wprowadzane w ruch poprzez silniki umieszczone w ramionach wózka pacjenta. Ruch ten jest mechanicznie przenoszony na 5 zakreśłów swobody instrumentu pracującego. Każde narzędzie ma swój chip oraz magnes, za pomocą którego system automatycznie wykrywa obecność sterylnego adaptera, rodzaj instrumentu oraz określa ramię, w którym instrument został zainstalowany.

Długość instrumentów wynosi ok. 66 cm, a średnica 8 mm. W wersji systemu robotowego da Vinci Si dostępne są także narzędzia 5 mm. Obrót w osi długiej narzędzia możliwy jest do 540 stopni, co zapewnia większy zakres ruchów niż naturalne możliwości nadgarstka człowieka.

Sterowanie narzędziami pracującymi odbywa się poprzez poruszanie manipulatorów MTM zamontowanych tuż pod monitorem konsoli chirurgicznej. Na rycinie 7 przedstawione są dwie metody ułożenia dłoni w MTM. Palce dłoni lewej (dalszy plan na zdjęciu) wprowadzone są do uchwytów, palec wskazujący spoczywa na przycisku wyzwalamym, tzw. sprzęgle. Przy takim ułożeniu dłoni i palców możliwy jest zakres obrotu o 360 stopni w osi długiej manipulatora. Rozsuniecie i złączenie palców wywołuje adekwatny ruch końcówki narzędzia pracującego. Palce dłoni prawej widoczne na pierwszym planie ściskają proksymalną część manipulatora, co pozwala na artykulację w pełnym, 540-stopniowym zakresie. Ich delikatne rozwarście powoduje otwarcie końcówki pracującej. Odpowiednie poruszanie MTM umożliwia wykonanie obrotu, wychylenia, odchylenia i chwytania narzędziem pracującym.

Operowanie z pomocą EndoWrist® ma istotną przewagę nad operowaniem techniką klasyczną lub z wykorzystaniem instrumentów laparoskopowych w niektórych etapach procedur chirurgicznych [8]. Dotyczy to posługiwania się narzędziami w małych przestrzeniach anatomicznych, gdzie EndoWrist® zapewnia analogicznie do dłoni chirurga pełną swobodę (zakres) ruchów. Fakt ten umożliwia precyzyjne preparowanie, szycie czy zespolenie. Nie bez znaczenia jest także doskonała widoczność (powiększony, trójwymiarowy obraz) w trudno dostępnych, głęboko położonych obszarach, np. miednicy małej. W odniesieniu do chirurgii dolnego odcinka przewodu pokarmowego zalety EndoWrist® wykorzystywane są szczególnie w operacjach tzw. niskich nowotworów odbytnicy, zaawansowanych nowotworów jelita grubego (T4a-b), skomplikowanej chirurgii przetok jelitowych czy jelitowo-pęcherzowych. W odniesieniu do zabiegów związanych z nowotworem prostaty zalety tego rozwiązania technicznego wykorzystywane są w preparowaniu pęczków naczyniowo-nerwowych (techniki między i podpowięziowe) oraz w precyzyjnym wypreparowaniu kikuta cewki moczowej i wykonaniu beznapięciowego, szczelnego

zespolenia pęcherzowo-cewkowego. Ważną cechą jest możliwość zgięcia nożyczek lub imadła, co istotnie poprawia efektywność pracy.

W ginekologii użycie EndoWrist® umożliwia precyzyjne i delikatne preparowanie w miednicy małej, przydatne zwłaszcza w oszczędzaniu pęczków naczyniowo-nerwowych w okolicy przegrody odbytniczo-pochwowej i okolicy przedkrzyżowej, a także w trakcie wszywania w tej okolicy siatki w czasie sakrokolpopeksji. Rozwiązanie to ułatwia wykonanie radykalnej histerektomii w nowotworach narządu rodowego czy głęboko naciekającej endometriozie. Ponadto trudne w czasie klasycznej laparoskopii kilkuwarstwowe szycie w czasie myomektomii, często wykonywane techniką extracorporeal, w opcji EndoWrist® jest możliwe w technice intracorporeal, z zapewnieniem precyzji i właściwego tempa szycia.

Robotyka medyczna z pewnością jest przyszłością chirurgii mało inwazyjnej. Szybkość, z jaką rozwija się technologia, jest zaskakująca. Pierwsza operacja transatlantycka przy użyciu robota Zeus odbyła się w 2001 roku. Operator przebywający w Nowym Jorku w Stanach Zjednoczonych przeprowadził operację wycięcia pęcherzyka żółciowego pacjentce w Strasburgu we Francji, opóźnienie wynosiło około 0,58 sekundy. Możemy sobie wyobrazić, iż już niedługo nie tylko dzięki rozwiązaniom technologicznym związanym z narzędziami, ale także poprawiającym jakość i szybkość transmisji danych operacje na odległość staną się powszechnie dostępne. Być może w niedalekiej przyszłości nowa generacja instrumentów pozwoli na usunięcie ograniczenia systemu robotowego da Vinci związanego z brakiem czucia siły nacisku końcówek pracujących narzędzia [9]. A być może już niedługo automatyzacja czynności zabiegowych zostanie zaimplementowana do procedur chirurgicznych, co faktycznie spowoduje wykonywanie zabiegu przez zautomatyzowane narzędzie, czyli robota. Wciąż jednak system robotowy da Vinci, choć nazwa może być mylnie interpretowana, wspomaga pracę chirurga, a nie wykonuje ją za niego.

mgr inż. **Dominika Szuberla**

Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki,
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Warszawa, Polska
dr hab. n. med. **Roman Sosnowski**, prof. inst.

Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie,
Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, Polska

mgr **Adam Grudziński**

Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki,
Poznań, Polska

lekarz **Monika Nekanda-Trepka**

Oddział Ginekologii i Ginekologii Onkologicznej,
Szpital Specjalistyczny im. Świętej Rodziny, Warszawa, Polska
dr hab. n. med. **Tomasz Borkowski**

Klinika Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej,
Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska
dr n. med. **Tomasz Jakubczyk**

Dept. of Urology, Ryhov County Hospital, Jönköping, Szwecja
dr n. med. **Jerzy Draus**

Oddział Kolorektalny, Hallands Hospital Halmstad, Szwecja



Rycina 8. Cztery uniwersalne ramiona wózka pacjenta systemu da Vinci Xi. Źródło: materiał własny autorów



Rycina 9. Dyski w ramieniu robota. Źródło: materiał własny autorów

PIŚMIENNICTWO:

- [1] Hibner M, Marianowski P, Szymusi I, Wielgoś M: Zastosowanie robotów w chirurgii ginekologicznej. *Ginekol Pol* 2012; 83: 934–938.
- [2] Podseńkowski L: Roboty medyczne, budowa i zastosowanie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [3] Challacombe B, Khan M, Murphy D, Dasgupta M: The history of robotic in urology. *World J Urol* 2016; 24: 120–127.
- [4] Rassweiler J, Safi S, Subotic D, Frede D: Robotics and telesurgery – an update on their position in laparoscopic radical prostatectomy. *Minim Invasiv Therap* 2005; 14: 109–122.
- [5] Murphy D, Challacombe B, Khan MS, Dasgupta P: Robotic technology in urology. *Postgrad Med J* 2006; 82: 743–747.
- [6] Szwed J, Michalak A, Zawadzki M, Witkiewicz W: Instrumentarium i techniki zabiegów w chirurgii robotowej. PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa 2021.
- [7] Nawrat Z: Robotyka medyczna w Polsce. *Medical Robotics Reports* 2012; 1: 7–16.
- [8] Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg* 2016 Oct; 40(10): 2550–2557.
- [9] Chłosta P, Słojewski M, Sosnowski R i wsp.: Atlas laparoskopii urologicznej. Polskie Towarzystwo Urologiczne, Warszawa 2008.