PRACE POGLĄDOWE
ginekologia

Zastosowanie robotów w chirurgii ginekologicznej

Robotic surgery in gynecology

Hibner Michał[1], Marianowski Piotr[2], Szymusik Iwona[2], Wielgoś Mirosław[2]

[1] Division of Gynecologic Surgery, St. Joseph's Hospital and Medical Center, Creighton University School of Medicine, USA
[2] I Katedra i Klinika Położnictwa i Ginekologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Polska

Streszczenie

Pod terminem robotyki medycznej kryje się wykorzystanie robotów medycznych do zabiegów chirurgicznych. Istotą tej metody jest możliwość sterowania przez chirurga trzema lub czterema robotycznymi ramionami w celu wykonywania zabiegów, które dawniej przeprowadzane były konwencjonalnymi metodami. Wejście pierwszych robotów do użytku zmieniło podejście do rozumienia chirurgii i znacznie zwiększyło możliwości w minimalnie inwazyjnej chirurgii.

Największy zakres możliwości wykorzystania robotyki medycznej w chirurgii daje ginekologia. Na drugim miejscu plasuje się urologia, następnie kardiochirurgia, chirurgia ogólna i wreszcie laryngologia. Niewątpliwie w ginekologii robot znajduje największe zastosowanie w przypadku zabiegów z zakresu onkologii ginekologicznej, histerektomii, miomektomii czy wyłuszczaniu zmian łagodnych z jajnika oraz w operacjach mających na celu usunięcie ognisk endometriozy.

Powikłania związane z operacją robotem mogą być takie same, jak w przypadku konwencjonalnej laparoskopii, jednakże ze względu na większą dokładność zakresu ruchów odsetek powikłań jest mniejszy. Natomiast, co ciekawe, krzywa uczenia się operacji metodą robotyki medycznej jest taka sama, jak w przypadku innych operacji.

Bardzo ważną i ostatnio przedstawianą coraz częściej jako podstawową zaletę robota jest kwestia zmęczenia operatora podczas zabiegu. Robot medyczny ponadto likwiduje kłopotliwą przypadłość niektórych chirurgów, jaką jest drżenie rąk. Jeszcze jedną opcją, którą umożliwia zestaw do robotyki medycznej jest tzw. skalowanie ruchu - zmiana skali ruchu operatora w ten sposób, że duży ich zakres w obrębie sterownika jest w systemie przetwarzany na niższą skalę zakresu, poprzez co jest on o wiele bardziej delikatny.
Wydaje się, że przyszłością robotyki w medycynie jest zmniejszenie liczby portów narzędziowych.

Słowa kluczowe: **robotyka medyczna** / **robot Da Vinci** / **narzędzia do Da Vinci** / / **konwencjonalna chirurgia** /

Adres do korespondencji:
Piotr Marianowski
I Katedra i Klinika Położnictwa i Ginekologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
Pl. Starynkiewicza 1/3; 02-015 Warszawa, Polska
e-mail: pmarianowski@poczta.onet.pl
Tel. 22 502 14 30; Fax. 22 502 21 57

Otrzymano: **15.09.2012**
Zaakceptowano do druku: **20.11.2012**

© Polskie Towarzystwo Ginekologiczne

Abstract

Introduction of robotic surgery in the first decade of the 21 century was one of the biggest breakthroughs in surgery since the introduction of anesthesia. For the first time in history the surgeon was placed remotely from the patient and was able to operate with the device that has more degrees of freedom than human hand. Initially developed for the US Military in order to allow surgeons to be removed from the battlefield, surgical robots quickly made a leap to the mainstream medicine. One of the first surgical uses for the robot was cardiac surgery, but it is urology and prostate surgery that gave it a widespread popularity.

Gynecologic surgeons caught on very quickly and it is estimated that 31% of hysterectomies done in the United States in 2012 will be done robotically. With over half a million hysterectomies done each year in the US alone, gynecologic surgery is one of the main driving forces behind the growth of robotic surgery. Other applications in gynecology include myomectomy, oophorectomy and ovarian cystectomy, resection of endometriosis and lymphadenectomy. Advantages of the surgical robot are clearly seen in myomectomy. The wrist motion allows for better, more precise suturing than conventional "straight stick" laparoscopy. The strength of the arms allow for better pulling of the suture and the third arm for holding the suture on tension. Other advantage of the robot is scaling of the movements when big movement on the outside translates to very fine movement on the inside. This enables much more precise surgery and may be important in the procedures like tubal anastomosis and implantation of the ureter. Three-dimensional vision provides excellent depth of field perception. It is important for surgeons who are switching from open surgeries and preliminary evidence shows that it may allow for better identification of lesions like endometriosis. Another big advantage of robotics is that the surgeon sits comfortably with his/her arms and head supported. This results in much less fatigue and therefore increases precision and potentially may decrease the number of medical errors. The eyes of the surgeon are directed at where the hands should be, which is more natural, allows for a more natural body position and mimics open surgery. Robot also enables better teaching, especially when two consoles are used. The surgeon and the student may be either sharing the instruments with two consoles or switching between one another. In a situation where the student operates, the surgeon can use the telestation to teach. Robotic simulator attached to one of the consoles allows students to practice after hours.

In summary, surgical robot is a great tool, especially in gynecology but also in urology, cardiac surgery, general surgery and laryngology. The device will evolve and most likely with time will eliminate laparoscopy

Key words: **medical robotics** / **Da Vinci robot** / **Da Vinci instruments** / / **conventional surgery** /

Wstęp

W pierwszym dziesięcioleciu XXI staliśmy się świadkami największego postępu w historii technologii chirurgicznej. Wejście pierwszych robotów do użytku zmieniło nasze podejście do rozumienia chirurgii i znacznie zwiększyło możliwości w minimalnie inwazyjnej chirurgii. Wprowadzenie robotów pozwala ponadto na nowe możliwości w nauczaniu chirurgii. Po raz pierwszy zaciera się granica pomiędzy chirurgiem i asystentem, a uczeń w trakcie operacji może być prowadzony rękami mistrza [1,2].

Historia

Pierwszym robotem, który znalazł zastosowanie w chirurgii był Puma 560. Yik San Kwoh z University of Southern California w 1985 roku zaprogramował przemysłowego robota do wykonywania stereotaktycznych operacji mózgu. W połączeniu z tomografią komputerową ta metoda znacznie zwiększyła precyzję biopsji guzów mózgu. Trzy lata później ten sam robot został użyty do przezcewkowej biopsji prostaty. Zalety tej metody zostały szybko zauważone wśród chirurgów i pacjentów, co zaowocowało konstrukcją robota o nazwie PROBOT specjalnie do operacji przezcewkowych.

W połowie lat 80-tych XXwieku Departament Obrony Stanów Zjednoczonych (DoD) zauważył potrzebę polepszenia opieki chirurgicznej nad żołnierzami rannymi na polu bitwy.

Zaistniała potrzeba znalezienia alternatywnego rozwiązania, które by pozwoliło operować ich na froncie przez chirurga odległego o tysiące kilometrów. W związku z planowaną budową stacji kosmicznej identyczną potrzebę telechirurgii zauważyła NASA. Z grantu rządowego USA (DoD i NASA) powstała firma Stanford Research Institute w celu skonstruowania robotycznego ramienia do wykonywania prostych zabiegów chirurgicznych. Drugą firmą, która powstała z grantu DoD/NASA była Computer Motion. Pierwszym jej produktem było AESOP – ramię robotyczne do trzymania laparoskopu w trakcie chirurgii endoskopowej. Urządzenie to zostało wprowadzone na rynek w 1993 roku, ale jego wysoka cena spowodowała, że niewielu chirurgów go używało. AESOP (*Automated Endoscopic System for Optimal Positioning*) to ramię, które przymocowuje się do stołu operacyjnego w pobliżu głowy pacjenta tak, że zarówno chirurg jak i asystent mieli wolne ręce do kontrolowania narzędzi chirurgicznych [1, 2].

ZEUS był pierwszym robotem użytym do chirurgii brzucha/miednicy. Przy jego pomocy Tomasso Falcone z Cleveland Clinic w 1998 roku przeprowadził zespolenie jajowodów u pacjentki po ich wcześniejszym podwiązaniu. Robot ten, wyprodukowany również przez firmę Computer Motion, składał się z trzech ramion wcześniej wspomnianego urządzenia AESOP. Jedno z nich było przeznaczone do trzymania laparoskopu, a dwa pozostałe ramiona do narzędzi chirurgicznych [2]. (Rycina 1).

© Polskie Towarzystwo Ginekologiczne

Ginekol Pol. 2012, 83, 934-938

Co to jest robotyka medyczna?

Pod terminem robotyki medycznej kryje się wykorzystanie robotów medycznych do zabiegów chirurgicznych. Istotą tej metody jest możliwość sterowania przez chirurga trzema lub czterema robotycznymi ramionami w celu wykonywania zabiegów, które dawniej przeprowadzane były konwencjonalnymi metodami: otwartej chirurgii lub tradycyjnej laparoskopii.

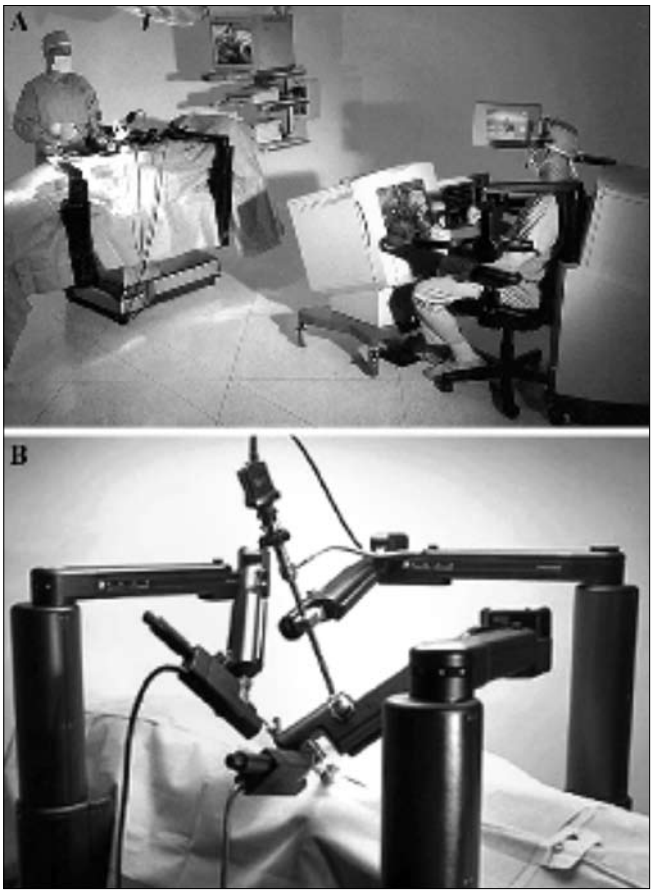
Zastosowanie robotyki medycznej w ginekologii

Zabiegi przy pomocy robota medycznego pozwalają na przeprowadzenie praktycznie każdej operacji w obrębie jamy brzusznej. Wskazania do zastosowania tej metody pokrywają się ze wskazaniami do konwencjonalnej laparoskopii, jednak wymagają pewnego komentarza. Wydaje się, że w przypadku prostych zabiegów związanych z leczeniem lub diagnostyką stanów nagłych (np. ciąża pozamaciczna czy pęknięta torbiel jajnika) zastosowanie robota mija się z celem, ze względu na możliwość skutecznego postępowania przy pomocy konwencjonalnej laparoskopii. Ponadto, decydując się na zastosowanie poszczególnych metod operacyjnych, należy się niestety liczyć z ich kosztami, co w przypadku robotyki medycznej może być traktowane jako wada tej metody. Wykorzystanie robota dla celów diagnostyki w niepłodności również mija się z celem ze względu na niewielką wartość dodaną robotyki medycznej w tym przypadku. Niewątpliwie robot znajduje największe zastosowanie w przypadku zabiegów z zakresu onkologii ginekologicznej, histerektomii, miomektomii czy wyłuszczaniu zmian łagodnych z jajnika oraz w operacjach mających na celu usunięcie ognisk endometriozy. Podobnie jak w przypadku konwencjonalnej laparoskopii, zastosowanie robota w przypadku złośliwych guzów jajnika w zaawansowanym stadium ma więcej przeciwników niż zwolenników. Nowotwory złośliwe trzonu macicy i szyjki macicy powszechnie operuje się tą metodą [2, 3, 4, 5].

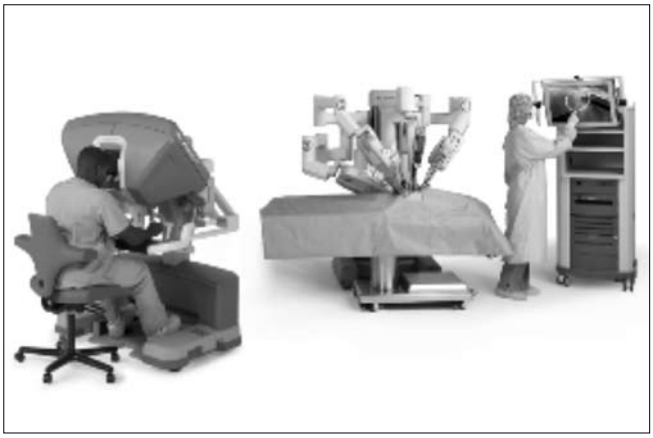
Należy zwrócić uwagę na jeden interesujący fakt. Krzywa uczenia się operacji metodą robotyki medycznej jest taka sama jak w przypadku innych operacji: po przeprowadzeniu około 20 zabiegów chirurg osiąga umiejętność wykonania ich samodzielnie w stopniu wystarczającym. Jednak niezmiernie ważnym dla wielu ginekologów faktem jest to, że decydując się na operowanie tą metodą nie trzeba mieć doświadczenia w konwencjonalnej laparoskopii [5].

Zestaw do operacji z użyciem robota medycznego składa się z trzech części: wózka głównego z ramionami do portów narzędziowych, konsoli, przy której siedzi operator oraz wózka sterowniczego, zawierającego cały system komputerowy odpowiedzialny za finkcjonowanie zestawu. Poszczególne części połączone są ze sobą światłowodem. (Rycina 2).

Cały system jest mobilny, co pozwala na przesuwanie robota pomiędzy różnymi salami operacyjnymi. Podłączenie stacji dokującej z wprowadzeniem troakarów zajmuje około 30 minut w przypadku sprawnie funkcjonującego zespołu lekarzy i instrumentariuszek. Należy tutaj nadmienić, że miejsce wprowadzenia troakarów jest ściśle określone, a w praktyce wymierzone przy pomocy kątomierza i linijki. Nieprawidłowe ich wprowadzenie powoduje zderzanie ramion robota w trakcie operacji i niemożność operowania w wymaganym rejonie jamy brzusznej czy miednicy [2].



Rycina 1. Robot ZEUS. A – robot i konsola chirurga, B – robot.



Rycina 2. Robot DaVinci Si. Po lewej stronie konsola chirurga, po środku wózek główny, po prawej stronie wózek sterowniczy.

Jaka jest różnica pomiędzy konwencjonalną laparoskopią a operacją z użyciem robota medycznego?

Chirurg w trakcie zabiegu nie stoi przy pacjentce tylko siedzi przy konsoli w dowolnej odległości i zdalnie steruje narzędziami wprowadzonymi do jamy brzusznej. W celach praktycznych, a głównie prawnych, konsola zawsze znajduje się w tej samej sali operacyjnej co pacjent, ale teoretycznie mogłaby znajdować się

© Polskie Towarzystwo Ginekologiczne

w miejscu oddalonym nawet o tysiące kilometrów. Przy pacjentce stoi na ogół instrumentariuszka i asysta, która w dowolnej chwili może przejąć kontrolę nad poszczególnymi troakarami. Rolą asysty jest podawanie i wyjmowanie szwów, wyjmowanie usuniętych tkanek i używanie ssaka. Instrumentariuszka odpowiedzialna jest za wymianę narzędzi i czyszczenie laparoskopu. Zarówno asysta, jak i instrumentariuszka, mają dobrą wizualizację pola operacyjnego z jednego z kilku monitorów w sali operacyjnej, chociaż obraz ten nie jest trójwymiarowy (taki widzi tylko chirurg przy konsoli) [2, 6].

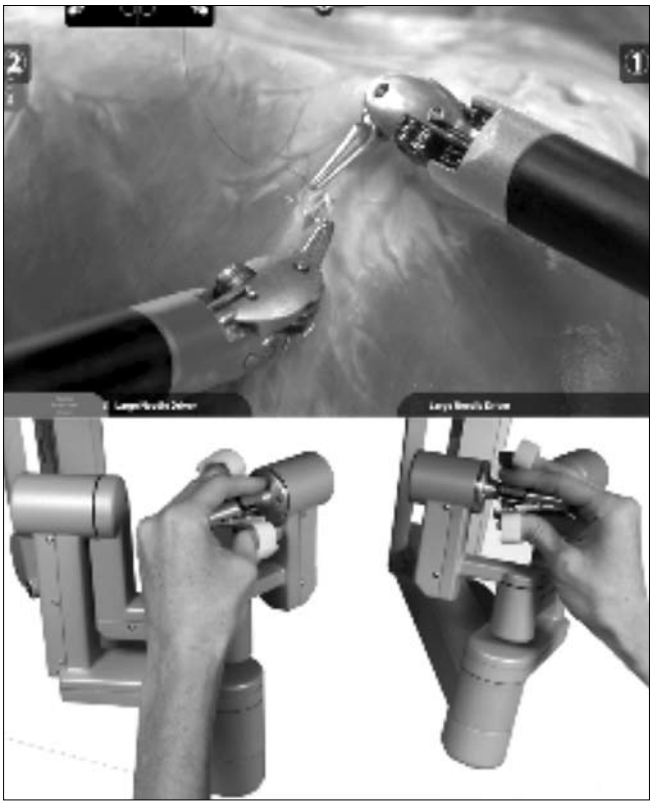
Narzędzia do robota różnią się od tych stosowanych w konwencjonalnej laparoskopii. Podstawową różnicę stanowi w tym przypadku tzw. ruch nadgarstka końcówki narzędzia, który jest możliwy w robotyce medycznej. Ma to ogromne znaczenie szczególnie przy zakładaniu szwów. Narzędzia laparoskopowe mają swoje ograniczenia: ruch do przodu i do tyłu, w lewo i w prawo, obrót całego narzędzia wokół własnej osi. W przypadku wprowadzenia ruchu nadgarstka do końcówki narzędzia i możliwości jego sterowania poprzez specjalne nakładki na dwa palce (wskazujący i środkowy lub kciuk i wskazujący, w zależności od preferencji operatora) wykonywanie ruchów jest właściwie przedłużeniem ruchów palców. Narzędzia robotyczne mają 7 stopni swobody i mogą się obracać o 540 stopni w osi długiej narzędzia. Między innymi z tego powodu urządzenie jest sterowane przez kontrolery (*master controllers*), a nie przez robotyczną „rękawiczkę" do której chirurg wkładałby ręce [5, 6, 7].

Niezwykle ważnym zagadnieniem związanym z przeprowadzaniem zabiegu operacyjnego z zastosowaniem robota jest takie rozwiązanie budowy konsoli, że operator wykonując manipulacje ma wzrok skierowany w miejsce gdzie powinny się znajdować jego dłonie, co jest zjawiskiem naturalnym i naśladującym fizjologiczne zachowania i reakcje. (Rycina 3).

W przypadku konwencjonalnej laparoskopii jednym z podstawowych problemów na początku uczenia się tej metody jest konieczność patrzenia w inną stronę niż na ręce.

Zaletą operacji z zastosowaniem robota jest powszechne wykorzystanie obrazu trójwymiarowego, który niezmiernie ułatwia orientację w odległości podczas operacji. Trójwymiarowy obraz daje poczucie głębi, dzięki czemu łatwiej operować w przypadku trudnych warunków, jak masywne zrosty czy zaawansowane stadia endometriozy. (Rycina 4).

Bardzo ważną i ostatnio przedstawianą coraz częściej jako podstawową zaletę robota jest kwestia zmęczenia operatora podczas zabiegu. W przypadku laparoskopii, pomimo przestrzegania pewnych zasad, dłuższe zabiegi związane są z dużym obciążeniem dla organizmu (mięśnie szkieletowe oraz mięśnie obręczy barkowej). Szczególnie znany jest fakt obciążania jednej nogi w czasie stania przy laparoskopii (prawej po prawej stronie stołu i lewej po lewej), co po wielu latach operowania może prowadzić do poważnych problemów ze stawem kolanowym. Fakt wygodnego siedzenia w fotelu przy konsoli, brak konieczności posiadania na sobie odzieży ochronnej (fartucha, rękawiczek itp.), możliwość przyjmowania płynów i pokarmów przez operatora może nie jest najważniejsze przy 30 minutowym zabiegu, jedynym w ciągu dnia. Natomiast przy 3-4 kilkugodzinnych operacjach przeprowadzonych w ciągu jednego dnia, niejednokrotnie ta cecha metody ma znaczenie nie tylko dla precyzji ruchów i wygody operatora, ale – przede wszystkim – dla zmniejszenia możliwości powikłań śródoperacyjnych [6].



Rycina 3. Oczy chirurga skierowane na dłonie znacznie ułatwiają operacje.

Rycina 4. Narzędzia do robota DaVinci 12 mm i 8 mm. Trójwymiarowy obraz powstaje przez umieszczenie dwóch kamer na laparoskopie.

Robot medyczny ponadto likwiduje tak prozaiczną kłopotliwą przypadłość niektórych chirurgów (szczególnie w podeszłym wieku), jaką jest drżenie rąk. Poprzez komputerowy system eliminacji drgań (ang. *tremor reduction system*) obserwowany obraz jest pozbawiony tej cechy co ma niepodważalne znaczenie przy precyzyjnych działaniach w obrębie chirurgii naczyniowej.

Jeszcze jedną opcją, którą umożliwia zestaw do robotyki medycznej jest tzw. skalowanie ruchu (ang. *scale movement*). Przy bardzo precyzyjnych ruchach np. reimplantacja jajowodów, robot umożliwia zmianę skali ruchu operatora w ten sposób, że duży

© Polskie Towarzystwo Ginekologiczne

ich zakres w obrębie sterownika jest w systemie przetwarzany na niższą skalę zakresu, poprzez co jest on o wiele bardziej delikatny. Można to trochę odnieść do znacznego powiększenia obrazu przy zachowanych proporcjach możliwości ruchu. (Rycina 5).

Robot medyczny ma kilka nowinek, których zastosowanie usprawnia zabieg operacyjny. Przykładowo tzw. *fire fly*, czyli wykorzystanie promieni UV do wizualizacji wstrzykniętych przeciwciał łączących się ze specyficznymi antygenami, pozwalającymi na znakowanie przerzutów do węzłów chłonnych [3].

Bardzo przydatne jest wprowadzenie systemu podziału obrazu na kilka w różnych skalach (ang. *picture in picture*). W praktyce korzysta się z dodatkowych badań przydatnych podczas operacji, np. w przypadku ginekologii powszechnie używany jest trójwymiarowy obraz przetworzony z rezonansu magnetycznego. Jest to przydatne w niektórych przypadkach, np. u pacjentek z licznymi mięśniakami podczas miomektomii.

Pobyt w szpitalu po operacji z zastosowaniem robota jest taki sam, jak po konwencjonalnej laparoskopii. Większość pacjentek po zwykłym usunięciu macicy z zastosowaniem robota medycznego opuszcza szpital w 1. dobie po operacji [4].

Powikłania operacji z wykorzystaniem robotyki medycznej.

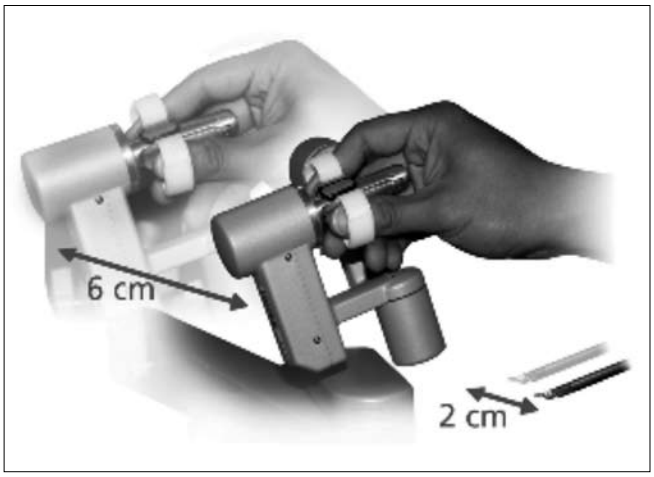
Powikłania związane z operacją robotem mogą być takie same, jak w przypadku konwencjonalnej laparoskopii, jednakże ze względu na większą dokładność zakresu ruchów odsetek powikłań jest mniejszy. Do dnia dzisiejszego, mimo dokładnej bazy danych prowadzonej przez FDA, nie zanotowano powikłań, które są charakterystyczne dla robota, a nie są spotykane po laparoskopiach [2].

Zastosowanie robotyki medycznej w poszczególnych specjalnościach

Największy zakres możliwości wykorzystania robotyki medycznej w chirurgii daje ginekologia. Na drugim miejscu plasuje się urologia, następnie kardiochirurgia, chirurgia ogólna i wreszcie laryngologia. Na szczególną uwagę zasługuje stosowanie tej metody do wymiany zastawek serca oraz wszepienia by-passów. W laryngologii ciekawie rozwiązano wprowadzenie narzędzi do operowanej okolicy – przez usta – dzieki czemu możliwe stało się wykonywanie skomplikowanych zabiegów w obrębie krtani z najbardziej korzystnego podejścia przy minimalnym ryzyku uszkodzenia tkanek otaczających [8]. Innym interesującym podejściem do wprowadzenia narzędzi robotyki medycznej jest operacja tarczycy, w której wprowadza się ramiona poprzez nacięcie pod mostkiem oraz w dole pachowym.

Koszty związane z zastosowaniem robotyki medycznej

Najnowsza wersja robota medycznego Da Vinci SI kosztuje 1.8 mln dolarów. Wersja z wykorzystaniem dwóch konsoli (przydatna przy uczeniu) kosztuje 2.2 mln dolarów. Niestety, nie jest to jedyny koszt jaki jest związany operowaniem tą metodą. Firma Intuitive wprowadziła na rynek narzędzia do robotyki medycznej, które można bezpiecznie wykorzystać przy 10 zabiegach. Biorąc pod uwagę wykorzystanie 3-4 narzędzi do każdego zabiegu koszt wykorzystania jednego narzędzia do jednej operacji wynosi około 250 dolarów. Do tego również dochodzą koszty sterylnych okryć robota (około 400 dolarów na zabieg) a przede wszystkim koszty serwisu (około 100 000 dolarów rocznie) [9].



Rycina 5. Skalowanie ruchów. Dostępne są skale 2:1, 3:1 i 5:1.

Czy można operować na odległość?

Można. Przeprowadzono kilka pokazowych operacji mających na celu prezentację możliwości sprzętu, jednak wydaje się, że w praktyce nie ma to większego sensu.

Jaka jest przyszłość robotyki medycznej?

Wydaje się, że przyszłością jest zmniejszenie liczby portów narzędziowych. Obecnie stosowana jest już metoda tzw. *single port entry*, jednak jej doskonałość pozostawia wiele do życzenia. Wydaje się, że wprowadzenie przez jeden port troakaru, z którego będzie możliwe wprowadzenie do jamy otrzewnowej kilku narzędzi bez wpływu na wygodę i zakres ich kontrolowania jest następnym etapem w chirurgii [10]. Niewątpliwie wejście na rynek robotów innych firm spowoduje pojawienie się coraz nowszych, ciekawszych rozwiązań możliwych do zastosowania przez człowieka w medycynie.

Piśmiennictwo

1. Einarsson J, Hibner M, Advincula A. Side docking: an alternative docking method for gynecologic robotic surgery. *Rev Obstet Gynecol.* 2011, 4, 123-125.
2. Visco A, Advincula A. Robotic gynecologic surgery. *Obstet Gynecol.* 2008, 112, 1369-1384.
3. Fleming N, Ramirez P. Robotic surgery in gynecologic oncology. *Curr Opin Oncol.* 2012, 24, 547-553.
4. Quaas A, Einarsson J, Srouji S, [et al.]. Robotic myomectomy: a review of indications and techniques. *Rev Obstet Gynecol.* 2010, 3, 185-191.
5. Smith A, Krivak T, Scott E, [et al.]. Dual-console robotic surgery compared to laparoscopic surgery with respect to surgical outcomes in a gynecologic oncology fellowship program. *Gynecol Oncol.* 2012, 126, 432-436.
6. Franasiak J, Ko E, Kidd J, [et al.]. Physical strain and urgent need for ergonomic training among gynecologic oncologists who perform minimally invasive surgery. *Gynecol Oncol.* 2012, 126, 437-442.
7. Perrenot C, Perez M, Tran N, [et al.]. The virtual reality simulator dV-Trainer([REGISTERED]) is a valid assessment tool for robotic surgical skills. *Surg Endoscopy.* 2012, 26, 2587-2593.
8. Weinstein G, O'Malley B Jr, Magnuson J, [et al.]. Transoral robotic surgery: a multicenter study to assess feasibility, safety, and surgical margins. *Laryngoscope.* 2012, 122, 1701-1707.
9. Schiavone M, Kuo E, Naumann R, [et al.]. The commercialization of robotic surgery: unsubstantiated marketing of gynecologic surgery by hospitals. *Am J Obstet Gynecol.* 2012, 207, 174. e1-7.
10. Nam E, Kim S, Lee M, [et al.]. Robotic single-port transumbilical total hysterectomy: a pilot study. *J Gynecol Oncol.* 2011, 22, 120-126.

© Polskie Towarzystwo Ginekologiczne