

# Uporaba robota u urološkim operacijama

---

**Matuzović, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:978376>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-25**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

MEDICINSKI FAKULTET

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI

SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Dino Matuzović

UPORABA ROBOTA U UROLOŠKIM OPERACIJAMA

Diplomski rad

Rijeka, 2021

SVEUČILIŠTE U RIJECI

MEDICINSKI FAKULTET

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI

SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Dino Matuzović

UPORABA ROBOTA U UROLOŠKIM OPERACIJAMA

Diplomski rad

Rijeka, 2021

Mentor rada: izv.prof.dr.sc. Josip Španjol, dr.med.

Diplomski rad ocjenjen je dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u sastavu:

1. Izv.prof.dr.sc. Romano Oguić, dr.med

2. Izv.prof.dr.sc. Alen Protić, dr.med

3. Doc.dr.sc. Stanislav Sotošek, dr.med

Rad sadrži \_\_35\_\_stranica, \_\_8\_\_slika, \_\_0\_\_tablica, \_\_48\_\_literaturnih navoda.

Zahvaljujem mojoj majci Mensuri i svom bratu Denisu na bezuvjetnoj podršci i pruženim prilikama.

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>1.1. Robotika u kirurgiji</b> .....	1
<b>2. Klasifikacija robota</b> .....	5
<b>2.1. Klasifikacija robota prema upravljivosti</b> .....	6
<b>3. Poželjne karakteristike medicinskog robota</b> .....	7
<b>3.1. Usporedbe upravljivosti manualne od robotski potpomognute laparoskopije</b> .....	9
<b>4. Trenutno dostupni robotski sustavi</b> .....	10
<b>4.1. AESOP</b> .....	10
<b>4.2. Endoassist</b> .....	12
<b>4.3. Neuromate</b> .....	13
<b>4.4. ZEUS</b> .....	14
<b>4.5. DaVinci</b> .....	15
<b>4.6. Drugi robotski sistemi korišteni u urologiji</b> .....	17
<b>4.6.1. Probot</b> .....	17
<b>4.6.2. PAKY</b> .....	17
<b>5. Robotski kirurški zahvati u urologiji</b> .....	17
<b>5.1. Robotska prostatektomija</b> .....	18
<b>5.2. Robotska kirurgija bubrega</b> .....	19
<b>5.3. Robotska cistektomija</b> .....	21
<b>5.4. Robotska pijeloplastika</b> .....	21
<b>5.5. Ostali zahvati</b> .....	22
<b>6. Budućnost</b> .....	22
<b>7. Zaključak</b> .....	24
<b>8. Literatura</b> .....	25



# 1. Uvod

Ideja uporabe robota potječe još antičkih vremena gdje Aristotel u 4. stoljeću pr. Kr. navodi koncept automatizacije. Leonardo da Vinci oko 1500. godine izrađuje mehanički automat u obliku lava koji se kreće, otvara prsni koš i pokazuje francuski grb.

Josef Čapek, brat Karel Čapeka skovao je riječ robot za Karelov igrokaz Rossumovi Univerzalni Roboti 1921. godine.(1) Pojam dolazi iz Čehoslovačke riječi „robota“, što označava roba, radnika i sl.. U njegovoj viziji svijeta, roboti su čovjekoliki strojevi sa sposobnošću rasuđivanja, a konstruirani su kako bi zamijenili ljudski rad u tvornicama te kako bi pomagali ljudima sa svakodnevnim zadacima. Eventualno su se okrenuli protiv njih u pokušaju svjetske dominacije. Razvoj robota počinje sa razvijanjem prvih automata, odnosno sa uvođenjem njihove proizvodnje u 1940.-im godinama. Nastavljajući, razvijaju se računalno upravljani alatni strojevi zvani CNC. Istodobno se razvijaju i manipulatori, odnosno robotske ruke sa slobodom pokreta, u svrhu rada sa radioaktivnim materijalima. Zbog mogućnosti njihovog programiranja, a time i njihove djelomične samostalnosti u radu, bili su stvoreni prvi roboti. Komercijalnu proizvodnju započeli su Joseph Engelberger i George Devol, koji je prvi konstruirao uređaj za programirano premještanje predmeta početkom 1960-ih. Engelbergera se često naziva ocem robotike jer prvi počeo sa njihovom prodajom kao dio tvrtke zvane Unimation. Roboti su vrlo dobru primjenu našli u Japanu, gdje je 1970. prvi industrijski robot radio kao zavarivač u Nissanovoj tvornici.

## 1.1. Robotika u kirurgiji



Tijekom 1980-ih godina istraživači iz National Aeronautics and Space Administration Ames Resarch Center i inženjeri iz Stanford Resarch Institute zainteresirali su se za robotsku tehnologiju i virtualnu realnost. Njihov zajednički trud rezultirao je razvojem teleprisutnog kirurškog sustava kako bi unaprijedili preciznost mikroskopske kirurgije. Uspješno je izvedeno deset spajanja krajnjih anastomoza femoralne arterije štakora kako bi demonstrirali njegovu učinkovitost. Ubrzo ideja mikroskopskih operacija se prebacuje i na makroskopske. Kao jedan od ključnih momenata uvođenja robotike u medicinu možemo navesti razvijanje kirurške laparoskopije u Europi, koju je kasnije Perisat, kirurg iz Sveučilišne bolnice u Bordeauxu, uveo u SAD, izvođeci laparoskopsku operaciju kolecistektomije na sastanku Društva američkih gastrointestinalnih kirurga u Atlanti 1989. godine.(2) Potaknuti idejom telekirurgije, razvojem novih laparoskopskih instrumenata i usavršavanjem operacija, Ministarstvo obrane u Americi razvija novi uređaj: „SRI Green telepresence Surgery System“. Zamišljen je kao mobilna operacijska soba sa robotskim kirurškim manipulatorima sa kojima je kirurg mogao operirati iz daljine, odnosno obližnjeg kirurškog centra. Ozlijeđeni vojnik bi primio hitnu kiruršku pomoć kako bi se zbrinule smrtne ozljede, većinski vaskularne traume. Iako rane studije nisu pokazale veliku praktičnost teleprisutne tehnologije u ratnim sredinama, znatno su doprinijele razvoju daljnje robotske tehnologije u druge svrhe.(3) U Europi bili su daljnji pokušaji integracije robotike u kirurgiji. U Njemačkoj, Schurr i suradnici razvijaju prvi sistem opremljen sa rukama koje su bile u mogućnosti pomicanja u rasponu od 6 stupnjeva i trodimenzionalnim sistemom vizualizacije zvanim Advanced Robotic Telemanipulator for Minimally Invasive Surgery (ARTEMIS)(slika1).



Slika 1. ARTEMIS – Advanced Robotic Telem manipulator for Minimally Invasive Surgery.

(preuzeto s <https://allaboutroboticsurgery.com/surgical-robot-technology> 27.7.2021)

Iako je sustav ARTEMIS bio tehnološki sofisticiran, nije bio dovoljno komercijaliziran.(4)

Robotika je bila primijenjena također na druga polja medicine kao što su traumatologija, neurokirurgija i druge. Aplikacija robotike u ovim područjima ima važno značenje koje treba uzeti u obzir iz aspekta urologije. Također značajno je i korištenje Programamable Universal Machine for Assembly (PUMA)(slika 2.) 560 od Kwoh i suradnika za neurostereotaktičku kirurgiju(5), što je prva robotsko asistirana kirurška operacija navedena u literaturi. Zbog toga Wickham i suradnici započeli su istraživanje o robotskoj kirurgiji na Imperial Collage u Londonu.



Slika 2. PUMA – Programmable Universal Machine for Assembly (preuzeto s [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b8/Unimate\\_500\\_PUMA\\_Deutsches\\_Museum.jpg/1200px-Unimate\\_500\\_PUMA\\_Deutsches\\_Museum](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b8/Unimate_500_PUMA_Deutsches_Museum.jpg/1200px-Unimate_500_PUMA_Deutsches_Museum) 27.7.2021)

To je vodilo do razvoja Probota za prostatektomiju.(6) U isto vrijeme Paul i suradnici razvijaju ROBODO (Integrated surgical systems, Sacramento, CA) za ortopedsku kirurgiju (7) i AESOP koji je uspješno primijenjen kao držač endoskopa tijekom laparoskopije. Uskoro, bio je rutinski korišten za laparoskopske operacije u puno referentnih centara.(8) Većina robotskih operacija danas se izvodi korištenjem daVinci robotskog sustava.

Laparoskopija bila je važan ključ u razvoju ove nove tehnologije. Robotska kirurgija je razvijena na osnovama laparoskopskih principa i iskustava. Laparoskopski kirurzi bili su pioniri početnih robotskih operacija i njihov trud omogućio je brz razvoj novih tehnologija. Trebamo svakako spomenuti da su prvu robotsku radikalnu prostatektomiju izvršili Binder i suradnici u

Njemačkoj, kasnije Abbou i suradnici u Francuskoj.(9) Guillonneau i suradnici izvršili su prvu robotsku nefrektomiju(10) i također prvu limfadenektomiju za rak prostate.

## **2. Klasifikacija robota**

Postoji više klasifikacija robota, ali za početak možemo ih klasificirati na tri klase, počevši od automatiziranih do jednostavnijih (3):

1. “Precise path systems”, su unaprijed programirani mehanički uređaji za izvođenje ponavljajućih sistemskih i unaprijed definiranih pokreta. Ne zahtijevaju direktno vođenje kirurga. U ovu klasu se ubrajaju: Kirurški Robot za Prostatektomiju, dizajniran za izvođenje transuretralne resekcije prostate na mehanički način(11); i PAKY uređaj za punkciju renalnih nakapnica tijekom perkutanih renalnih operacija(12).

2. “Intern replacement” kirurški roboti. Pripadaju klasi između prijašnje grupe i „gospodar-rob“ uređaja. Oni zamjenjuju kirurškog asistenta kako bi obavljali zadatke koje zahtijevaju preciznost bez mogućnosti zamora. Ovoj grupi pripadaju: Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP) i Endoassist. Takvi uređaji funkcioniraju kao endoskopski držači koji se mogu usmjeravati naredbama kirurga.

3. “Gospodar-rob” je najveći primjer robotike koji se navodi u današnjoj literaturi iako je to najmanje automatiziran sustav od svih. Sastoji se od računalne konzole za kiruršku interakciju, odakle se može na daljinu kontrolirati robotski toranj koji podupire tri do četiri robotske ruke. Taj robotski uređaj se nikad ne pomiče neovisno bez vođenja kirurga. Robotske ruke precizno oponašaju pokrete kirurga na konzoli unutar tijela pacijenta. Ovoj klasi pripadaju uređaji kao: da Vinci™ Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, California) i Zeus Robotic Surgical

System (Computer Motion, Goleta, California). Ovi robotski sustavi imaju računalne kontrole sa ciljem poboljšanja kirurške preciznosti i smanjivanja tremora (13)

## **2.1. Klasifikacija robota prema upravljivosti**

Definicija upravljivosti bila bi mogućnost da se napravi niz promjena u specifičnom smjeru i poziciji za određenu svrhu. Iz kirurške perspektive kvalitetu možemo definirati kao lakoću izvođenja planiranog pokreta bez učinjene greške, u svim mogućim kirurški namijenjenim ravninama, smjerovima i stupnjevima kretanja. To se može kvantitativno mjeriti indeksom upravljivosti(14), Taj indeks je baziran na idealnom responzivnom odgovoru, odnosno činjenici da operater može upravljati sistemom kao da direktno pokušava manipulirati udaljenim objektima preko prepreka.(15)

U literaturama(16), (17) su opisane slijedeće tri klase robota:

Roboti 1. klase: Pasivno diskretni roboti kojima potpuno manjka autonomnost, zapravo konvencionalni manipulatori sa najmanjom razinom upravljivosti.

Roboti 2. klase: Polu-aktivni roboti. Aktivnost ovisi o dotoku energije koju možemo ograničiti ovisno o ulozi i zadatku za koji je potreban. Ruka može biti oblika zmije i opseg kretnje se može povećavati ovisno o broju zglobova koji su povezani.

Roboti 3. klase: Kontinuirani roboti, koji nemaju diskretne spojeve i krute karike. Može se savijati neprekidno po cijeloj svojoj dužini poput pipka hobotnice, te zbog toga imaju maksimalni stupanj upravljivosti sa najvećom slobodom pokreta.

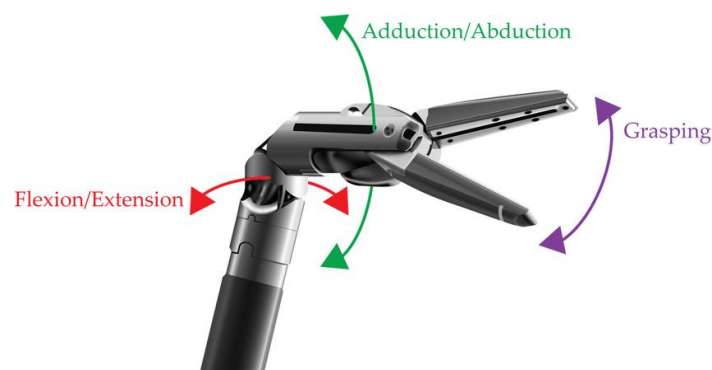
Općenito i najčešće se roboti dijele po prijašnjoj klasifikaciji, gdje imamo sustave koji su vođeni slikom, odnosno koriste sustav za određivanje cilja kojeg je kirurg identificirao prethodno i sustave koje upravlja kirurg i koji ovise o kontinuirano unošenim kirurškim podacima te ih naknadno prevode u prikladnu manipulaciju instrumenta.

### **3. Poželjne karakteristike medicinskog robota**

Medicinski robot trebao bi biti u sposobnosti upravljati naprednim uređajima koji se nalaze unutar odnosno izvan ljudskog tijela. Liječnik mora biti u mogućnosti stupiti u interakciju sa robotom na siguran i pouzdan način kako bi prvenstveno osigurali i poboljšali zdravstvenu zaštitu i kvalitetu života pacijenta. Također trebao bi biti intrinzično siguran, gdje mislimo na sami dizajn medicinskog robota i njegovih mehaničkih ruku. Važna karakteristika medicinskog robota je njegova pouzdanost. To se odnosi na sposobnost uređaja da više puta izvršava naredeni zadatak sa istim stupnjem točnosti. Moramo također osigurati dupliciranje kritično važnih komponenata sustava kako bi povećali njegovu pouzdanost, odnosno kako bi osigurali njegovo sigurno funkcioniranje i ne nanošenje potencijalnih rizika ili štetnih događaja koji su mogući zbog interakcije medicinskog robota sa ljudskim tijelom. Te opasnosti mogu varirati od malih ozljeda i niskih potencijala do potencijalnog izazivanja invaliditeta ili smrti, što znači da idealni medicinski robot mora garantirati sigurnost bez kompromitiranja njegove pouzdanosti. Važno je također sigurno pozicioniranje sučelja urolog-pacijent gdje bi se izbjegla većina ograničenja koju predstavljaju tradicionalni kruti laparoskopski instrumenti, kao i sigurno pozicioniranje robota unutar ograničenog anatomskeg prostora.

Što se tiče tehničkih aspekata kod izrade računalno potpomognutih uređaja za izvođenje kirurških zahvata, veliku važnost moramo staviti na njihovu pouzdanost, točnost, spretnost, mogućnost

ponavljanja kao i izvođenje pokreta u širokom opsegu i svim ravninama bez tremora. Računalno potpomognuta laparoskopija, za razliku od ručne, danas je više favorizirana zbog njegovog stupnja upravljivosti, posebno u smislu ergonomije liječnika. Ručno laparoskopsko kretanje sklono je pogreškama zbog drhtanja ili umora kirurga te ima ograničen opseg kretanja, dok kod računalno potpomognute laparoskopije zbog vrhunske spretnosti robota i predvidljivih preciznih pokreta sa visokom pouzdanošću znatno se smanjuje mogućnost pogreške liječnika. Također kinematika robotskih ruku daleko nadmašuje konstriktivne i glomazne pokrete laparoskopskih instrumenata, te se zbog toga postiže veća upravljivost. Robotske ruke opremljene sa EndoWrist™ (Intuitive Surgical, Inc.)(slika 3.) instrumentima nude sedam stupnjeva raspona mobilnosti, dok konvencionalni laparoskopski instrumenti nude samo tri ili četiri. Povećanju stupnja upravljivosti robotskom sustavu uvelike pomaže i trodimenzionalno uvećan stereoskopski pogled, kojeg pružaju dvostruke kamere dostupne u daVincijevim Sustavima. Takav trodimenzionalno stereoskopski pogled može nadoknaditi nedostatak taktilne povratne percepcije i osjeta u kirurškim operacijama. Guilloneau navodi da bi kirurški robot trebao biti alat koji ima mogućnost operiranja i prilagođavanja svakom pacijentu, njegovoj anatomiji i bolesti sa velikom preciznošću pokreta, i sa krajnjim ciljem usavršavanja tehnika urološke kirurge.



Slika 3. Opseg kretanja daVinci EndoWrist robotske ruke (preuzeto s <https://www.researchgate.net/publication/341714471/figure/fig4/AS:896343375622144@15907>)

16322111/The-range-of-motion-of-the-da-Vinci-EndoWrist-end-effector-The-EndoWrist-has-motions 3.8.2021)

Međutim, trenutno, jedna od najvećih mana kirurških robota predstavlja nedostatak ljudske haptičke percepcije odnosno povratnog taktilnog odgovora, koje mogu znatno utjecati na uspješnost operacija, osobito u kontekstu bilateralnih teleoperacija.(18) Za sad ovu zabrinutost minimaliziramo dostupnošću stereoskopske slike sa velikim uvećanjima, bez vremenske odgode i povećanim opsegom kretnji mogućih u modernom kirurškom „gospodar-rob“ robotskom sistemu.

### **3.1. Usporedbe upravljivosti manualne od robotski potpomognute laparoskopije**

Za razliku od medicinskih robota, manualna laparoskopija pruža kirurgu samo dvodimenzionalnu sliku sa jako limitiranom dubinskom oštrinom i zakida ga za prijeko potrebnu treću dimenziju. Pokreti napravljeni manualnom laparoskopijom skloni su podrhtavanjima, tremorima te su jako osjetljivi na umor kirurga. Na upravljivost također utječe i glomaznost dugih laparoskopskih instrumenata za čiju sposobnost pravilnog upravljanja potrebno više iskustva, osobito za izvođenje precizno artikuliranih kontroliranih pokreta unutar ograničenog prostora.

Medicinski roboti u drugu ruku koriste motorizirano potpomognuto kretanje koje omogućuje računalno upravljaju manipulaciju za izvođenje kirurških zahvata. Dizajn robota i konstantna inovacija opreme omogućuju visoku razinu stupnja osjetljivosti upravljanja, čak i u ograničenim prostorima. Navedenim inovacijama danas u uporabu su došli AVC ( Advanced 3D Vision Control) bazirani sistemi koje omogućuju opciju tele-robotike, odnosno mogućnost operiranja pacijenta na lokaciji koja je udaljena od lokacije kirurške operacijske sale. Sposobnost preciznog seciranja i šivanja znatno se poboljšala uporabom navedenih sustava, koji uklanjaju tremor kirurga



postupkom filtriranja, kao i vrhunska ergonomija robotskih ruku i udobna okolina konzole u kojoj kirurg operira znatno utječu na smanjenje njegovog umora. Sve ovo rezultira u znatnom skraćivanju vremena provedenog u operacijskoj sali, a time i manji gubitak krvi, kraći boravak u bolnici za pacijente i manje vrijeme potrebno da se svladaju tehnike potrebne za korištenje medicinskih robota.

## **4. Trenutno dostupni robotski sustavi**

FDA (Food and Drug Administration) u Americi do danas je odobrio uporabu pet robotskih sustava koji su potpuno integrirani i u kontinuiranoj uporabi u mnogim centrima. To su AESOP, Endoassist, Neouromate, da Vinci Surgical System i ZEUS Surgical System.

### **4.1. AESOP**

Sredinom 1990.-ih godina, Computer Motion (Berkeley, California, USA) prvi je predstavio automatski endoskopski sistem za optimalno pozicioniranje (AESOP).(19)(slika 4.) Sastoji se od jedne zglobno artikulirane ruke sa četiri stupnja slobodne kretnje koja drži endoskop ili laparoskopski retraktor tijekom laparoskopskih zahvata. Modeli prvih generacija kontrolirali su se tako što bi kirurg stiskao nožnu papučicu, ali brzo nakon toga razvijena je i mogućnost kontroliranja glasom. Kirurg ima unaprijed programiranu glasovnu karticu koja omogućuje sustavu kako bi razumio i odgovarao na kirurške naredbe.



Slika 4. Computer Motion AESOP - Kirurški robotski sustav (preuzeto s <https://www.researchgate.net/profile/Robert-Holloway-3/publication/51437277/figure/fig2/AS:610718843928576@1522618127649/Computer-Motions-AESOP-Automatic-Endoscopic-System-for-Optimal-Positioning-has-allowed>. 3.8.2021)

Prednost njegove uporabe u odnosu na kirurškog asistenta pokazala se u tome da drži kameru stabilno i ne zamara se. Također, puno su rjeđe promjene video kamere kao i slučajni sudari instrumenata zbog neiskustva asistenta. Učinkovitost se vidjela u tome što je omogućivala kirurgu da operira bez asistenta u istom vremenskom trajanju zahvata(20). Sistem je postao popularan za zahvate kao što su prostatektomija i laparoskopna pijeloplastika. Osim urologije, također se koristi i u drugim kirurškim područjima kao što su ginekologija(21) i gastrointestinalna kirurgija.(22)

## 4.2. Endoassist

Sustav je razvijen u Armstrong Healthcare centru u High Wycombe, UK, također u 1990-im godinama.(slika 5.) Jako je sličan AESOP sustavu, a funkcija mu je da drži i pozicionira endoskop. Endoassist se kontrolira džojstikom ili senzorom koji se nosi na glavi. Uređaj sa trakom za glavu šalje infracrvene signale koji omogućuju Endoassist-u da prati kretanje glave kirurga. Kada kirurg pritisne nožnu papučicu, robot pomiče kameru u smjeru u kojem kirurg gleda na monitoru. Znatno je jeftiniji od AESOP sustava, ali zauzima više prostora u operacijskoj sali i rjeđe se koristi.(23)



Slika 5. Endoassist robotski sustav (preuzeto s <https://hilditchgroup.com/lotimages/H881C1-79-0> 3.8.2021)

### 4.3. Neuromate

Sustav razvijen u Renishaw Mayfield SA institutu, Nyon, Švicarskoj za stereotaktične kirurške primjene.(slika 6.) Stereotaktička kirurgija je minimalno invazivni oblik kirurške intervencije koja koristi trodimenzionalni koordinatni sustav kako bi locirala ciljeve malih dimenzija unutar tijela i izvodila na njima ablacije, biopsije, implantacije, stimulacije itd.. Sustav uključuje sklop robotske ruke sa pet stupnjeva slobode kretanja i softverski sustav za kinematičko pozicioniranje na računalo. Stereotaktički rentgenski sustav pričvršćen je na operacijski stol i pruža bočne i anterioposteriorne slike za provjeru položaja elektroda za snimanje. Softver za kontrolu kintetike ruke također može identificirati i definirati zone oko glave pacijenta u kojoj smanjuje svoju brzinu zbog sigurnosti. Uveden je za upotrebu u biopsijama i postupcima aspiracije hematoma u Japanu sredinom 1990.-ih, a najnovija verzija odobrena je u lipnju 2014. godine.(24)



Slika 6. Reinshaw Neuromate robotski sustav (preuzeto s <https://www.renishaw.com/media/img/gen/7ccccddca4944b058ca73ee6476ec45a> 3.8.2021)

## 4.4. ZEUS

Computer Motion 1995.-ih godina razvija robotski kirurški sustav ZEUS. On predstavlja prvi kirurški „gospodar-rob“ sustav nove generacije koji kirurgu omogućava kontrolu laparoskopskih instrumenata na konzoli koja je udaljena od operacijskog stola.(slika 7.) Sastojao se od AESOP-ovog laparoskopskog manipulatora upravljano glasom i dva džojstika koja kontroliraju dvije robotske ruke sa laparoskopskim instrumentima. Ovaj uređaj omogućuje šest stupnjeva slobodne kretnje. Na početku je bio razvijen sa dvodimenzionalnom slikom ali konačne verzije imale su trodimenzionalnu. Na ljudima je prvi put korišten 1998. godine, a 2001. godine je prijavljena prva transatlantska operacija na čovjeku, kad su kirurzi u New Yorku izveli laparoskopsku kolecistektomiju na pacijentu u Strasbourgu bez ikakvih komplikacija.(25) Trenutno, ZEUS projekt je ugašen kao rezultat spajanja Computer Motion-a sa rivalom Intuitive Surgical (Sunnyvale, California, USA) 2003. godine. Intuitive Surgical razvija sustav pod nazivom da Vinci koji zbog više stupnjeva slobode kretanja i stereoskopskog pogleda izbjija ZEUS sustav sa tržišta.(26)



Slika 7. ZEUS robotski sustav. Lijevo su prikazane robotske ruke, a desno konzola (preuzeto s <https://www.researchgate.net/profile/Stanley-Winata/publication/327561755/figure/fig3/AS:669403108634648@1536609546810/Zeus-Robotic-Surgical-System-1> 3.8.2021)

## 4.5. DaVinci

U posljednjim godinama najveći utjecaj na broj izvedenih robotskih zahvata napravio je kirurški sustav daVinci razvijen od Intuitive Surgical centra.(slika 8.) Urologija je specijalizacija koja bilježi najveći porast izvedenih robotskih zahvata, sa više od 8000 robotskih prostatektomija u 2004. godini.(27) Taj zahvat danas čini više od 10% radikalnih prostatektomija izvedenih u SAD, te 75% operacija raka prostate u Americi izvodi se korištenjem daVinci sustava. Sve češće se koristi u operacijama srčanih zalistaka, kao i ginekološkim operacijskim zahvatima. U svijetu je trenutno u korištenju više od 1700 daVinci sustava, sa više od 775 000 pacijenata operiranih ovim sustavom. To je najnapredniji „gospodar-rob“ robotsko kirurški sustav razvijen do danas.



Slika 8. DaVinci robotski sustav. Lijevo je prikazan rad na konzoli, a desno elektronički i robotski toranj. (preuzeto s <https://www.researchgate.net/profile/Hwr-Schreuder/publication/23657822/figure/fig1/AS:276991791124480@1443051397492/da-Vinci-S-HD-robotic-system-surgeons-console-patient-side-card-with-robot-arms-InSite> 3.8.2021)

Kirurški sustav daVinci sastoji se od tri različita dijela: prvi je glavna konzola, gdje kirurg sjedi na ergonomski dizajniranoj stolici za upravljanje robotom sa glavnog računala. Drugi dio je elektronički toranj koji sadrži video, svjetlo, asistentski monitor i insuflator. Robotski toranj čini treći dio sustava koji je pozicioniran nad pacijentom i drži tri/četiri robotske ruke. Tijekom operacije i kirurg i robot moraju biti u istoj prostoriji. U konzoli kirurg upravlja robotom postavljenog dalje od operacijskog stola. Na njemu se projicira, kroz binokularni otvor, trodimenzionalni pogled s endoskopa (jedna od robotskih ruku) pri 10x povećanju. Budući da kirurg nije svjestan položaja robotskih ruku i instrumenata u prostoru kao i nedostatka proprioceptivnog osjeta, ovo je od iznimne važnosti. Kirurg kontrolira kretanje robotskih ruku palcem i kažiprstom. Računalo integrira kirurške instrumente, pa kirurg ima dojam kao da su instrumenti njegove ruke. Nožne pedale konzole omogućuju kontrolu dijatermije i drugih izvora energije. Robot je prilagođen na skaliranje pokreta tako da se izvode jako glatki i precizni pokreti bez tremora. Robotski toranj sadrži tri do četiri robotske ruke pozicionirane nad pacijentom, od kojih jedna, središnja, sadrži već navedeni trodimenzionalni endoskop visoke rezolucije. Na ostale ruke postavljeni su specijalizirani instrumenti kao EndoWrist sa širokim opsegom slobode kretanja. Elektronički toranj sadrži jedinicu za upravljanje kamerom trodimenzionalnog sustava snimanja, uređaje za snimanje slike, laparoskopski insuflator i monitor koji omogućuje prikaz dvodimenzionalne slike za asistente

## **4.6. Drugi robotski sistemi korišteni u urologiji**

Osim „gospodar-rob“ robotskih sistema, drugi sustavi su također korišteni u urološkim operacijama.

### **4.6.1.Probot**

Kirurški robot za prostatektomije(28), odnosno prethodno programiran transrektalni resektor, predstavlja prvu upotrebu robotskih sustava u urologiji. Razvijen je u Guy-evoj bolnici i Imperial College u Londonu. Prije operacije, zahvaljujući transrektalnom ultrazvuku, izmjeri se veličina prostate, a zatim se sustav programira tako da izvodi ponavljajuće pokrete u svrhu resekcije tkiva ali uvijek poštujući granice prostate. Tijekom zahvata kirurg nadgleda operaciju na monitoru. Na kraju operacije, kirurg pregledava površinu prostate i osigurava hemostazu.

### **4.6.2.PAKY**

PAKY je robotski sustav za perkutani pristup(12) kojeg je razvilo Sveučilište Johns Hopkins. U suštini je to robotska ruka sa iglom na kraju koja ima sedam stupnjeva slobode kretanja. Zahvaljujući njemu postigao se perkutani pristup bubregu.

## **5. Robotski kirurški zahvati u urologiji**

Iako se robotski sustavi danas koriste za razne zahvate, kako u drugim medicinskim specijalizacijama tako i u urologiji, njihova se upotreba popularizirala tijekom izvođenja laparoskopski radikalnih prostatektomija. Njihova korisnost za ovaj postupak se pokazala zbog kontrasta prema dugom vremenu potrebnog za izvođenje laparoskopskog zahvata, potrebe za stabilnom slikom i neugodnog položaja kamere za gledanje u anatomske područje zdjelice. U



drugu ruku sve institucije i ne mogu priuštiti posjedovanje ovih sustava, čije ih cijene čine nedostupnima ( oko 100 000 eura za AESOP i 50 000 eura za EndoAssist). Ipak zbog njihove sve veće popularnosti, popis zahvata izvršenih robotskim sustavima postupno se povećava.

## **5.1. Robotska prostatektomija**

Radikalna prostatektomija je najčešći zahvat koji se izvodi robotskim sustavima. Robotska prostatektomija smatra se najprigodnijom tehnikom zbog svojih prednosti kao što su instrumenti sa malim zglobovima i povećane trodimenzionalne slike koja je prijeko potrebna kada se operira u dubokim anatomskim područjima pelvisa. Dosad, najbolji način liječenja klinički lokaliziranog karcinoma prostate bila je radikalna retropubična prostatektomija(29), a trenutno joj konkurira robotska prostatektomija zbog svoje minimalno invazivne prirode i obećavajućih kratkoročnih ishoda koji uključuju vrijeme operacije, gubitak krvi, duljinu boravka u bolnici, smanjenu postoperativnu bol, bolju urinarnu kontinenciju, seksualnu potenciju i onkološke ishode. Začetnici razvoja ove tehnike bili su kirurzi iz Detroita koji su izmislili Vattikutti Institute tehniku prostatektomije. Usavršili su transperitonealnu tehniku koja je davala jako dobre onkološke rezultate sa minimalnim morbiditetom. U svojim prvih 1100 slučajeva, Menon i suradnici(30) izvješćuju operativno vrijeme od 70-160 min. i gubitak krvi od 50-150 ml, bez transfuzije. 95% pacijenata otpušteno je u roku od 24 sata. Totalna urinarna kontinencija je postignuta u 96% pacijenata kao i mogućnost spolnog odnosa bez pomoći kod pacijenata koji su na to imali mogućnost predoperativno u 60% slučajeva nakon 6 mjeseci. Nakon toga, opisali su metodu seciranja neurovaskularnog snopa na apexu („Afroditin veo“), koji je poboljšao stopu posljeoperativne seksualne potencije na 97%.(31) Uspoređujući izvođenje radikalne prostatektomije na robotu i laparoskopski, opazili su znatno dulje vrijeme rada i gubitak krvi u posljednjoj.(32) U sličnom ne-randomiziranom ispitivanju usporedili su rezultate 60 otvorenih

prostataktomija sa istim brojem robotskih prostataktomija.(33) Rezultati operativnog vremena bila su slična (214 min. prema 231 min.). Pozitivne stope marže bile su niže u robotskoj skupini (16,7% prema 20%), kao i stope gubitka krvi (103ml prema 418ml). Zasad nijedno nasumično kontrolno ispitivanje nije usporedilo robotsku prostataktomiju sa laparoskopskom ili otvorenom operacijom. Očekuje se da će se broj zahvata urađenih robotima u budućnosti povećavati sa sve većom dostupnošću tehnologije, te ćemo tad imati više podataka o dugotrajnim onkološkim ishodima robotske prostataktomije.

## **5.2. Robotska kirurgija bubrega**

Druga potencijalna primjena robotike je u bubrežnoj kirurgiji. Guillonneau i kolege(10) izveli su prvu robotski potpomognutu laparoskopsku nefrektomiju korištenjem ZEUS sustava 2001. godine. 2002. godine Horgan i suradnici(34) izvješćuju o uspješnosti 12 slučajeva robotske žive donorske nefrektomije. Zaključuju da se kvaliteta alografta poboljšala zbog preciznosti robota. Adaptacija robota u zahvate radikalne nefrektomije nije se ostvarila u jednako velikoj mjeri kao i u zahvatima prostataktomije, jer tehničke prednosti kao što su šivanje i rekonstrukcija koje pruža robotski sustav, često nisu potrebne. Kako je parcijalna laparoskopska nefrektomija tehnički zahtijevan zahvat za naučiti zbog potrebe za održavanjem hemostaze uz izrezivanje bubrežnog tkiva i potrebe za laparoskopskim šivanjem, robotska pomoć tu može uvelike olakšati učenje i pristup kako bi zahvat postao šire prihvaćen i korišten. Stifelman i kolege(35) izvijestili su svoja iskustva sa dvanaest izvršenih robotsko laparoskopskih parcijalnih nefrektomija. Korištenjem daVinci robotskog sustava, izrezivali su tumor hladnim škarama i uzimali biopsiju sa baze. Nakon toga rekonstruirali bi bubreg i defekt zašili uz pomoć robota. Prosječno vrijeme operacije bilo je 265

min., a prosječno vrijeme tople ishemije bilo je 26 min. Prosječni gubitak krvi bio je 240ml, smanjenje hematokrita 6.5%, a duljina boravka 2,7 dana. Njihov zaključak je da je zahvat siguran, izvediv i ponovljiv. Peschel i kolege(36) izvijestili su također o svom iskustvu sa 13 izvedenih robotskih parcijalnih nefrektomija. Prosječno vrijeme tople ishemije bilo je 22 min., a vrijeme hladne ishemije od 18 do 43 min. Prosječni gubitak krvi bio je 170ml, dok prosječno vrijeme rada bilo je 215 min.. Nisu zabilježene komplikacije. Jedan je pacijent doživio postoperativni ileus koji se spontano riješio bez štetnih posljedica. Caruso i suradnici(37) usporedili su deset pacijenata podvrgnutih robotski potpomognutoj laparoskopskoj parcijalnoj nefrektomiji sa deset pacijenata koji su podvrgnuti konvencionalnoj laparoskopskoj parcijalnoj nefrektomiji. Operativno vrijeme, vrijeme ishemije i gubitak krvi bili su slični za obje skupine. U skupini robotskog zahvata bile su dvije intraoperativne komplikacije. U jednom slučaju krvarenje nakon uklanjanja vaskularnih stezaljki zahtijevao je prelazak na ručno potpomognuti pristup. Procijenjeni gubitak krvi je bio 300ml, a postoperativni hematokrit 31,7ml/dl. U drugom slučaju leđno krvarenje i loša vizualizacija zahtijevali su prelazak na otvoreni postupak. Procijenjeni gubitak krvi bio je 500 ml, a postoperativni hematokrit 34 ml/dl. U drugoj skupini došlo je do jednog prelaska u otvorenu operaciju zbog prekomjernog krvarenja u leđima. Iz ovih je studija jasno da je moguće koristiti robotsku kirurgiju za izvođenje djelomične nefrektomije ali za procjenu njegove sveukupne uspješnosti, korisnosti i prednosti još je rano. Potrebno je izvesti veće nasumične serije ispitivanja kako bi se utvrdile stvarne prednosti robotskih sustava.

### **5.3. Robotska cistektomija**

Prva robotska cistektomija i Hautmannova mjehura bila je 2003. godine.(38) Vrijeme trajanja operacije bilo je osam i pol sati uz gubitak krvi od 200ml. U suradnji Menonove grupe sa Mansourovom prijavili su 17 radikalnih cistoprostatektomija uz poštedu živaca sa nekoliko pacijenata kojima je formiran novi mjehur.(39) Novi mjehur robotski je anastomoziran nakon stvaranja ekstrakorpuralnog mjehura. Prosječni gubitak krvi bio je manji od 150ml. Beecken i suradnici(38) opisali su mogućnost intrakorporalne rekonstrukcije ortotopičnog mjehura u jednom slučaju. Kasnije Balaji i suradnici(40) opisali su mogućnost intrakorporalne rekonstrukcije ilealnog kanala u pacijenta. Guy-eva bolnica adaptirala je vlastitu verziju Vattikuttijeve robotske cistektomije i Eastbournove laparoskopske cistektomije sa obećavajućim rezultatima.(41) Pokazane su prednosti kao što su smanjeni gubici krvi, poboljšani operativni vid, smanjeni boravak u bolnici i smanjena postoperativna bol. Te prednosti potrebno je uspoređivati sa dužim operativnim trajanjem, povećanim tehničkim poteškoćama i nedokazanim dugoročnim onkološkim ishodima naspram otvorene radikalne cistektomije.(42) Važno je također imati nasumične serije ispitivanja koje uspoređuju robotsku cistektomiju sa najboljom otvorenom operacijom. U budućnosti, s razvojem tehnologije, instrumentacije, tkivnog inženjeringa, apsorbirajuće endo-GIA spajalice crijeva i daljnjim usavršavanjem tehnike, možda će biti moguće izvesti cijeli postupak potpuno intrakorporalno s jednakom učinkovitošću.

### **5.4. Robotska pijeloplastika**

Laparoskopska pijeloplastika i danas je izazovan postupak sa dugim operativnim vremenom. (43) Sung i suradnici(44) koji su prvi opisali robotski potpomognutu pijeloplastiku, uspoređivali su rezultate ZEUS sa daVinci robotskim sustavom u izvođenju različitih laparoskopskih postupaka

na modelu svinja.(26) Korištenjem daVinci sustava uspjeli su brže izvesti anastomozu i više je osigurati. DaVinci sustav se pokazao kao tehnički intuitivniji za uporabu, što je olakšalo i ubrzalo učenje. Povećana spretnost i preciznost robotskog sustava daVinci činila se kao privlačna opcija za opciju robotske pijeloplastike. Zahvat je uspješno izveden u odrasloj kao i dječjoj populaciji. Uspješnost se pokazala ista kao i laparoscopska i otvorena pijeloplastika.(45) Gettman i suradnici prijavili su rezultate robotske pijeloplastike kod devet pacijenata sa prosječnim trajanjem operacije od 138 min. bez komplikacija. U ne-randomiziranoj usporedbi prijavili su manje operativno vrijeme u usporedbi sa čistom laparoscopskom pijeloplastikom(46) Ukupno vrijeme operacije i šivanja bilo je 140 i 70 minuta naspram 235 i 120 minuta za laparoscopsku pijeloplastiku. Patel prijavljuje najveću seriju ispitivanja (n=50) gdje opisuje operativno vrijeme od 122 min. sa anastomotskim vremenom od 20 min.(47)

## **5.5. Ostali zahvati**

Većina laparoscopskih zahvata u urologiji danas je napravljena i na robotskom sustavu daVinci. Time uključujemo radikalnu i jednostavnu nefrektomiju, nefrektomiju živog donora, adrenalektomija, transplantacija suralnih živaca, reimplantacija uretera, kolposuspenzija i transplantacija bubrega.(27) Na zahvatima koje zahtijevaju kompleksne rekonstruktivne tehnike se više uočavaju prednosti korištenja robotskih sustava, nego na jednostavnim ablativnim zahvatima.

## **6. Budućnost**

Robotska tehnologija promijenila je način na koji se mnogi kirurški zahvati izvode danas, a to očekujemo i u budućnosti. Tijekom posljednjih godina daVincijev sustav uvelike je pomogao u poboljšanju urološke kirurgije. Kako bi povećali tu učinkovitost važna je konstantna inovacija i

investiranje u tehničke izmjene tih sustava. U najnovijim verzijama daVincijevog sustava postoji dodatak 5-milimetarskih instrumenata, korištenje četvrte robotske ruke i novi sustav kamera, koji omogućuje prebacivanje između trodimenzionalnog pogleda izbliza na širokokutni pogled.(48) Također, druge potencijalne ideje uključuju uporabu manjih motora kako bi smanjili veličinu robotskog tornja, postavljanje robotskog tornja na strop ili zid kako bi se povećale pristupne točke pacijentu i integracija slike u stvarnom vremenu u endoskopski prikaz na konzoli. To bi omogućilo kirurgu da operira ciljni organ i procjenu opskrbu krvlju ultrazvukom u stvarnom vremenu ili da identificira leziju integrirajući snimke magnetske rezonancije. Poslije očekujemo i verzije sustava koje bi omogućavale uporabu haptičke tehnologije, odnosno mogućnost taktilne povratne informacije. Dosta se ulaže i u edukativnu perspektivu sustava, odnosno stvaranje sustava mentorstva gdje bi sustav liječniku omogućio kontrolu nad robotom ako bi se pojavili problemi tijekom operacije koju obavlja stažist. Također imamo investiranje u istraživanje i razvoj robotskih simulatora. Oni bi bili potencijalno sigurno okruženje za učenje koje omogućuje objektivno i pouzdano kvantificiranje razine vještina.(48)

Također očekujemo razvoj manjih robota, odnosno razvoja nanotehnologije gdje bi se koristili roboti čije se dimenzije mjere u mikronima. Trenutni razvoj elektronike, senzora i motora u molekularnom mjerilu, omogućiti će proizvodnju mikroskopskih robota dimenzija usporedivih sa bakterijama. Takva tehnologija mogla bi se koristiti za isporuku kemoterapije ili ciljne genske terapije u krajnje organe ili stanice u udaljenim dijelovima tijela. Na primjer, jako dobro bi se integrirala u razvoj cjepiva ili sredstava malih molekula za liječenje raka bubrega.

## 7. Zaključak

Urologija je jako stara specijalizacija te urolozi i dalje koriste stare kirurške instrumente koji su se tijekom stotina godina prakse malo promijenili. Također je jako povoljna specijalizacija za korištenje i napredak tehnologije. Priroda endoskopske i laparoskopske kirurgije, koja dominira urološkom praksom, jako pogodni daljnjoj inovaciji. Ne iznenađuje činjenica da su se urolozi jako brzo prilagodili i iskoristili potencijal sadašnje generacije kirurških robota. Ovo su uzbuđujuća vremena, te smo još jako rano u njihovoj evoluciji. Mnogo zanimljivih razvoja tek slijedi. Tijekom posljednjih godina došlo je do eksponencijalnog rasta korištenja robotske tehnologije u urologiji. Kako je rak prostate jedan od najčešćih muških karcinoma, robotska protatektomija omogućila je da to postane minimalno invazivna alternativa otvorenoj prostatektomiji. Tehnologija je bila posebno korisna za postupke koji zahtijevaju zamršeno šivanje ili manevriranje instrumenata u malim prostorima, na primjer pijeloplastika i prostatektomija. Povećanjem broja robotskih sustava i kirurških iskustava, asimilacija robotskih postupaka u svakodnevni život povećati će se. Također, nadamo se i uz smanjivanje operativnog vremena. Svakodnevno očekujemo sve veće inovacije i izmjene u robotskoj tehnologiji, kao na primjer smanjivanje veličine instrumenata i integracija predoperativnih dijagnostičkih slika koje bi znatno poboljšale područje kirurgije. Svakako, moramo napomenuti da uz te stalne inovacije, trebalo bi se također puno truda uložiti i u znanstveno vrednovanje ovih novih tehnologija.

## 8. Literatura

1. Shah J, Mackay S, Rockall T, Vale J, Darzi A. 'Urobotics': robots in urology. *BJU Int.* 2001 Sep;88(4):313-20. doi: 10.1046/j.1464-410x.2001.02317.x. PMID: 11564012.
2. Perissat J, Collet DR, Belliard R. Gallstones: laparoscopic treatment, intracorporeal lithotripsy followed by cholecystostomy or cholecystectomy--a personal technique. *Endoscopy.* 1989 Dec;21 Suppl 1:373-4. doi: 10.1055/s-2007-1012994. PMID: 2532596.
3. Nguyen MM, Das S. The evolution of robotic urologic surgery. *Urol Clin North Am.* 2004 Nov;31(4):653-8, vii. doi: 10.1016/j.ucl.2004.06.002. PMID: 15474592.
4. Schurr MO, Buess G, Neisius B, Voges U. Robotics and telemanipulation technologies for endoscopic surgery. A review of the ARTEMIS project. *Advanced Robotic Telemanipulator for Minimally Invasive Surgery. Surg Endosc.* 2000 Apr;14(4):375-81. doi: 10.1007/s004640020067. PMID: 10790559.
5. Kwoh, Y. S.; Hou, J.; Jonckheere, E. A. et al: "A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery". *IEEE Trans Biomed Eng*, 35: 153, 1988
6. Wickham J. Minimally invasive therapy. *Health Trends.* 1991;23(1):6-9. PMID: 10170823.
7. Paul HA, Bargar WL, Mittlestadt B, Musits B, Taylor RH, Kazanzides P, Zuhars J, Williamson B, Hanson W. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1992 Dec;(285):57-66. PMID: 1446455.
8. Guillonneau B, Vallancien G. Laparoscopic radical prostatectomy: the Montsouris technique. *J Urol.* 2000 Jun;163(6):1643-9. doi: 10.1016/s0022-5347(05)67512-x. PMID: 10799152.
9. Abbou CC, Hoznek A, Salomon L, Olsson LE, Lobontiu A, Saint F, Cicco A, Antiphon P, Chopin D. Laparoscopic radical prostatectomy with a remote controlled robot. *J Urol.* 2001 Jun;165(6 Pt 1):1964-6. doi: 10.1097/00005392-200106000-00027. PMID: 11371890.
10. Guillonneau B, Jayet C, Tewari A, Vallancien G. Robot assisted laparoscopic nephrectomy. *J Urol.* 2001 Jul;166(1):200-1. PMID: 11435858.



11. Davies BL, Hibberd RD, Ng WS, Timoney AG, Wickham JE. The development of a surgeon robot for prostatectomies. *Proc Inst Mech Eng H*. 1991;205(1):35-8. doi: 10.1243/PIME\_PROC\_1991\_205\_259\_02. PMID: 1670073.
12. Cadeddu JA, Bzostek A, Schreiner S, Barnes AC, Roberts WW, Anderson JH, Taylor RH, Kavoussi LR. A robotic system for percutaneous renal access. *J Urol*. 1997 Oct;158(4):1589-93. PMID: 9302179.
13. Guillonneau B. What robotics in urology? A current point of view. *Eur Urol*. 2003 Feb;43(2):103-5. doi: 10.1016/s0302-2838(02)00550-x. PMID: 12565765
14. Yokokohji Y, Yoshikawa T. Bilateral control of master-slave manipulators for ideal kinesthetic coupling--formulation and experiment. *IEEE Trans Rob Autom*. 1994 Oct;10(5):605-20. doi: 10.1109/70.326566. PMID: 11539289.
15. Hannan MW, Walker ID. Kinematics and the implementation of an elephant's trunk manipulator and other continuum style robots. *J Robot Syst*. 2003 Feb;20(2):45-63. doi: 10.1002/rob.10070. PMID: 14983840.
16. Robinson G, Davies JBC. Continuum robots – a state of the art. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, MI, May 1999. pp 2849–2854
17. Troccaz J, Delnondedieu Y. Semi-active guiding systems in surgery. A two-DOF prototype of the passive arm with dynamic constraints. *Mechatronics* 1996; 6: 399–421
18. Lawrence DA. Stability and transparency in bilateral teleoperation. *IEEE Trans Robot Automat* 1993; 9(5):624–637
19. Nedas TG, Challacombe BJ, Dasgupta P. Robotics in urology: an update. *Int J Med Robot*. 2005 Jan;1(2):13-8. doi: 10.1002/rcs.37. PMID: 17518374.
20. Kavoussi LR, Moore RG, Adams JB, Partin AW. Comparison of robotic versus human laparoscopic camera control . *J Urol*. 1995 Dec;154(6):2134-6. Erratum in: *J Urol* 1997 Oct;158(4):1530. PMID: 7500476.
21. Mettler L, Ibrahim M, Jonat W. One year of experience working with the aid of a robotic assistant (the voice-controlled optic holder AESOP) in gynaecological endoscopic surgery. *Hum Reprod*. 1998 Oct;13(10):2748-50. doi: 10.1093/humrep/13.10.2748. PMID: 9804224.

22. Geis WP, Kim HC, Brennan EJ Jr, McAfee PC, Wang Y. Robotic arm enhancement to accommodate improved efficiency and decreased resource utilization in complex minimally invasive surgical procedures. *Stud Health Technol Inform.* 1996;29:471-81. PMID: 10172847.
23. Aiono S, Gilbert JM, Soin B, Finlay PA, Gordan A. Controlled trial of the introduction of a robotic camera assistant (EndoAssist) for laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc.* 2002 Sep;16(9):1267-70. doi: 10.1007/s00464-001-9174-7. Epub 2002 Jun 14. PMID: 12235507.
24. Kajita Y, Nakatsubo D, Kataoka H, Nagai T, Nakura T, Wakabayashi T. Installation of a Neuromate Robot for Stereotactic Surgery: Efforts to Conform to Japanese Specifications and an Approach for Clinical Use-Technical Notes. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2015;55(12):907-14. doi: 10.2176/nmc.tn.2015-0043. Epub 2015 Oct 28. PMID: 26511113; PMCID: PMC4686454.
25. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature.* 2001 Sep 27;413(6854):379-80. doi: 10.1038/35096636. Erratum in: *Nature* 2001 Dec 13;414(6865):710. PMID: 11574874
26. Sung GT, Gill IS. Robotic laparoscopic surgery: a comparison of the DA Vinci and Zeus systems. *Urology.* 2001 Dec;58(6):893-8. doi: 10.1016/s0090-4295(01)01423-6. PMID: 11744453.
27. Kumar R, Hemal AK. Emerging role of robotics in urology. *J Minim Access Surg.* 2005 Oct;1(4):202-10. doi: 10.4103/0972-9941.19268. PMID: 21206664; PMCID: PMC3004123.
28. Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q, Hibberd RD, Davies BL, Wickham JE, Nathan MS, Kundu B. The Probot--an active robot for prostate resection. *Proc Inst Mech Eng H.* 1997;211(4):317-25. doi: 10.1243/0954411971534449. PMID: 9330543.
29. Walsh PC, Marschke P, Ricker D, Burnett AL. Patient-reported urinary continence and sexual function after anatomic radical prostatectomy. *Urology.* 2000 Jan;55(1):58-61. doi: 10.1016/s0090-4295(99)00397-0. PMID: 10654895.
30. Menon M, Tewari A, Peabody JO, Shrivastava A, Kaul S, Bhandari A, Hemal AK. Vattikuti Institute prostatectomy, a technique of robotic radical prostatectomy for management of localized carcinoma of the prostate: experience of over 1100 cases. *Urol*

Clin North Am. 2004 Nov;31(4):701-17. doi: 10.1016/j.ucl.2004.06.011. PMID: 15474597.

31. Menon M, Kaul S, Bhandari A, Shrivastava A, Tewari A, Hemal A. Potency following robotic radical prostatectomy: a questionnaire based analysis of outcomes after conventional nerve sparing and prostatic fascia sparing techniques. *J Urol*. 2005 Dec;174(6):2291-6, discussion 2296. doi: 10.1097/01.ju.0000181825.54480.eb. PMID: 16280816.
32. Tewari A, Srivasatava A, Menon M; Members of the VIP Team. A prospective comparison of radical retropubic and robot-assisted prostatectomy: experience in one institution. *BJU Int*. 2003 Aug;92(3):205-10. doi: 10.1046/j.1464-410x.2003.04311.x. PMID: 12887468.
33. Ahlering TE, Woo D, Eichel L, Lee DI, Edwards R, Skarecky DW. Robot-assisted versus open radical prostatectomy: a comparison of one surgeon's outcomes. *Urology*. 2004 May;63(5):819-22. doi: 10.1016/j.urology.2004.01.038. PMID: 15134953.
34. Horgan S, Vanuno D, Sileri P, Cicalese L, Benedetti E. Robotic-assisted laparoscopic donor nephrectomy for kidney transplantation. *Transplantation*. 2002 May 15;73(9):1474-9. doi: 10.1097/00007890-200205150-00018. PMID: 12023627.
35. Phillips CK, Taneja SS, Stifelman MD. Robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy: the NYU technique. *J Endourol*. 2005 May;19(4):441-5; discussion 445. doi: 10.1089/end.2005.19.441. PMID: 15910252.
36. Pechel R, Gettman M, Bartsch G. Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty: initial clinical results. *Eur Urol*. 2003;2(1) (Suppl 2):46.
37. Caruso RP, Phillips CK, Kau E, Taneja SS, Stifelman MD. Robot assisted laparoscopic partial nephrectomy: initial experience. *J Urol*. 2006 Jul;176(1):36-9. doi: 10.1016/S0022-5347(06)00499-X. PMID: 16753361.
38. Beecken WD, Wolfram M, Engl T, Bents W, Probst M, Blaheta R, Oertl A, Jonas D, Binder J. Robotic-assisted laparoscopic radical cystectomy and intra-abdominal formation of an orthotopic ileal neobladder. *Eur Urol*. 2003 Sep;44(3):337-9. doi: 10.1016/s0302-2838(03)00301-4. PMID: 12932932.
39. Menon M, Hemal AK, Tewari A, Shrivastava A, Shoma AM, El-Tabey NA, Shaaban A, Abol-Enein H, Ghoneim MA. Nerve-sparing robot-assisted radical cystoprostatectomy

- and urinary diversion. *BJU Int.* 2003 Aug;92(3):232-6. doi: 10.1046/j.1464-410x.2003.04329.x. PMID: 12887473.
40. Balaji KC, Yohannes P, McBride CL, Oleynikov D, Hemstreet GP 3rd. Feasibility of robot-assisted totally intracorporeal laparoscopic ileal conduit urinary diversion: initial results of a single institutional pilot study. *Urology.* 2004 Jan;63(1):51-5. doi: 10.1016/j.urology.2003.09.011. PMID: 14751347.
  41. Dasgupta P, Hemal A, Rose K; Guy's and St. Thomas' Robotics Group. Robotic urology in the UK: establishing a programme and emerging role. *BJU Int.* 2005 Apr;95(6):723-4. doi: 10.1111/j.1464-410X.2005.05386.x. PMID: 15794768.
  42. Challacombe BJ, Rose K, Dasgupta P. Laparoscopic radical and partial cystectomy. *J Minim Access Surg.* 2005 Oct;1(4):188-95. doi: 10.4103/0972-9941.19266. PMID: 21206662; PMCID: PMC3004121.
  43. Murphy D, Challacombe B, Rane A. Laparoscopic reconstructive urology. *J Minim Access Surg.* 2005 Oct;1(4):181-7. doi: 10.4103/0972-9941.19265. PMID: 21206661; PMCID: PMC3004120.
  44. Sung GT, Gill IS, Hsu TH. Robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty: a pilot study. *Urology.* 1999 Jun;53(6):1099-103. doi: 10.1016/s0090-4295(99)00030-8. PMID: 10367834.
  45. Rose K, Khan S, Dasgupta P. The current status of robotic and laparoscopic pyeloplasty. *Int J Clin Pract.* 2006 Jan;60(1):6-8. doi: 10.1111/j.1368-5031.2005.0787d.x. PMID: 16409420.
  46. Gettman MT, Peschel R, Neururer R, Bartsch G. A comparison of laparoscopic pyeloplasty performed with the daVinci robotic system versus standard laparoscopic techniques: initial clinical results. *Eur Urol.* 2002 Nov;42(5):453-7; discussion 457-8. doi: 10.1016/s0302-2838(02)00373-1. PMID: 12429153.
  47. Patel V. Robotic-assisted laparoscopic dismembered pyeloplasty. *Urology.* 2005 Jul;66(1):45-9. doi: 10.1016/j.urology.2005.01.053. PMID: 15992879.
  48. Horgan S, Vanuno D. Robots in laparoscopic surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2001 Dec;11(6):415-9. doi: 10.1089/10926420152761950. PMID: 11814134.