

Primjena robotske kirurgije u urologiji

Application of Robotic Surgery in Urology

Luka Penezić^{1*}, Tvrtko Hudolin^{1, 2}, Nikola Knežević^{1, 2}, Tomislav Kuliš^{1, 2}, Toni Zekulić¹, Ilija Jurić¹, Hrvoje Saić¹, Jerko Anđelić¹, Tomislav Sambolić¹, Domagoj Šarić¹, Dominic Vidović¹, Ivan Kuran¹, Luka Žurić¹, Adam Rožmarić³, Bojan Čikić¹, Željko Kaštelan^{1, 2}

¹ Klinički bolnički centar Zagreb, Klinika za urologiju, Zagreb, Hrvatska

² Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb, Hrvatska

³ Županijska bolnica Čakovec, Služba za kirurške bolesti, Odjel opće kirurgije, vaskularne kirurgije i urologije, Čakovec, Hrvatska

Sažetak. Robotska kirurgija tijekom posljednja dva desetljeća postala je sastavni dio suvremene urološke prakse. Urologija je među prvim granama prihvatila minimalno invazivne tehnike, a razvoj robotike dodatno je unaprijedio preciznost i sigurnost. Nakon pionirskih laparoskopskih zahvata, prva robotski asistirana radikalna prostatektomija označila je početak nove ere. Sustav Da Vinci dugo je bio jedini komercijalno dostupan i postao je zlatni standard za brojne zahvate, osobito prostatektomiju, parcijalnu nefrektomiju i cistektomiju. Pojava novih sustava, poput sustava Hugo, Versius, Senhance, Hinotori i Revo-i, otvorila je tržište i potaknula konkurenciju. Robotska tehnologija sve češće se primjenjuje i u složenim, a rjeđe izvođenim operacijama, uključujući adrenalectomije, retroperitonealne limfadenektomije i transplantacije bubrega. Program robotske kirurgije u urologiji u Hrvatskoj započeo je 2019. godine u KBC-u Zagreb sa sustavom Senhance, a danas se zahvati izvode i pomoću platformi Da Vinci i Hugo u još dvjema ustanovama. Objavljena iskustva potvrđuju izvedivost i sigurnost, uz rezultate usporedive s drugim minimalno invazivnim pristupima. Robotska kirurgija u urologiji razvija se iznimno brzo, a budućnost uključuje daljnju integraciju umjetne inteligencije i digitalnih tehnologija. Roboti neće zamijeniti kirurge, već će ostati napredni alati za poboljšanje kirurške preciznosti i ishoda.

Ključne riječi: kirurgija; minimalno invazivna kirurgija; urologija

Abstract. Robotic surgery has become an integral part of modern urology over the past two decades. Urology was among the first specialties to adopt minimally invasive techniques, with robotics further enhancing safety and precision. Following pioneering laparoscopic procedures, the first robot-assisted radical prostatectomy marked the start of a new era. The Da Vinci system remained the sole commercially available platform for many years, becoming the gold standard for prostatectomy, partial nephrectomy, and cystectomy. The introduction of alternative systems such as Hugo, Versius, Senhance, Hinotori, and Revo-i has expanded the market and fostered competition. Robotic technology is also increasingly applied in less common but technically demanding procedures, including adrenalectomy, retroperitoneal lymph node dissection, and kidney transplantation. The Croatian robotic surgery program in urology began in 2019 at University Hospital Centre Zagreb with the Senhance system. Today, procedures are also performed using Da Vinci and Hugo platforms in two other centres. Published experiences confirm feasibility and safety, with outcomes comparable to other minimally invasive techniques. Robotic surgery in urology is evolving rapidly. Future developments will include artificial intelligence and digital integration, but robots will remain advanced tools that complement, rather than replace, surgical expertise.

Keywords: minimally invasive surgery; surgery; urology

***Dopisni autor:**

Dr. sc. Luka Penezić, dr. med., FEBU
Klinički bolnički centar Zagreb, Klinika za urologiju, Kišpatićeva 12, 10000 Zagreb, Hrvatska
E-mail: penezic.luka@gmail.com

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

UVOD

Minimalno invazivna kirurgija obilježila je zadnja desetljeća razvoja suvremene medicine. S obzirom na usko područje i otežan pristup organima male zdjelice te iskustvo u endoskopskim operacijama urinarnog trakta, urologija je bila jedna od prvih specijalnosti koje su prihvatile laparoskopski pristup, a upravo je laparoskopska nefrektomija koju su 1991. godine izveli Clayman i suradnici, označila početak nove ere u urološkoj kirurgiji¹. Nedugo zatim, učinjene su i laparoskopske prostatektomije te parcijalne nefrektomije, što je urologiju svrstalo među grane kirurgije koje su najbrže usvajale minimalno invazivne tehnike². U usporedbi s drugim specijalnostima, poput opće kirurgije ili ginekologije, tempo prihvatanja novih tehnologija u urologiji bio je dinamičniji i rezultirao je bržim i širim uvođenjem laparoskopskih postupaka³. Prirodni nastavak ovog razvoja bilo je uvođenje robotike u kirurgiju. Prve robotske asistiranе operacije u urologiji opisane su krajem 90-ih i početkom 2000-ih, a Binder i Kramer izvijestili su 2001. o prvoj robotski asistiranoj radikalnoj prostatektomiji⁴. Upravo je taj zahvat ubrzo postao vodeća procedura robotske kirurgije, a urologija je i u ovom području predvodila druge kirurške grane, kako u pogledu brzine prihvatanja tako i u broju publikacija i akumuliranom iskustvu⁵. Razvoj robotskih sustava, a posebice uvođenje i široka primjena sustava Da Vinci, značajno su promijenili urološku praksu. Tijekom posljednja dva desetljeća urologija je postala područje s najvećim brojem robotski izvođenih zahvata uopće, a robotska prostatektomija, parcijalna nefrektomija i cistektomija postale su standardni zahvati u mnogim centrima diljem svijeta⁶⁻⁸. Cilj je ovoga preglednog rada prikazati razvoj i evoluciju robotske kirurgije u urologiji, sažeti dosadašnja iskustva te naglasiti buduće perspektive ovoga područja.

RAZVOJ I POVIJEST ROBOTSKЕ KIRURGIJE

Razvoj robotske kirurgije započeo je još sredinom 80-ih godina 20. st. kada je korišten robotski sustav PUMA 560 za stereotaktičku biopsiju mozga, što se smatra prvim robotski asistiranim zahvatom u medicini⁹. Nedugo zatim, krajem 80-ih, razvijen je PROBOT, prvi robotski sustav namijenjen

isključivo urološkim zahvatima, koji je korišten za transuretralnu resekciju prostate¹⁰. Paralelno se razvijao i sustav ROBODOC, koncipiran za ortopedsku primjenu u ugradnji endoproteza kuka¹¹. U 90-ima tvrtka Computer Motion razvila je robotske sustave AESOP (engl. *Automated Endoscopic System for Optimal Positioning*) i ZEUS, koji su omogućili daljinsko upravljanje kamerom i kirurškim instrumentima. Sustav ZEUS korišten je i za prvu transatlantsku laparoskopski asistiranu kolecistektomiju 2001. godine, poznatu kao „operacija Lindbergh“¹².

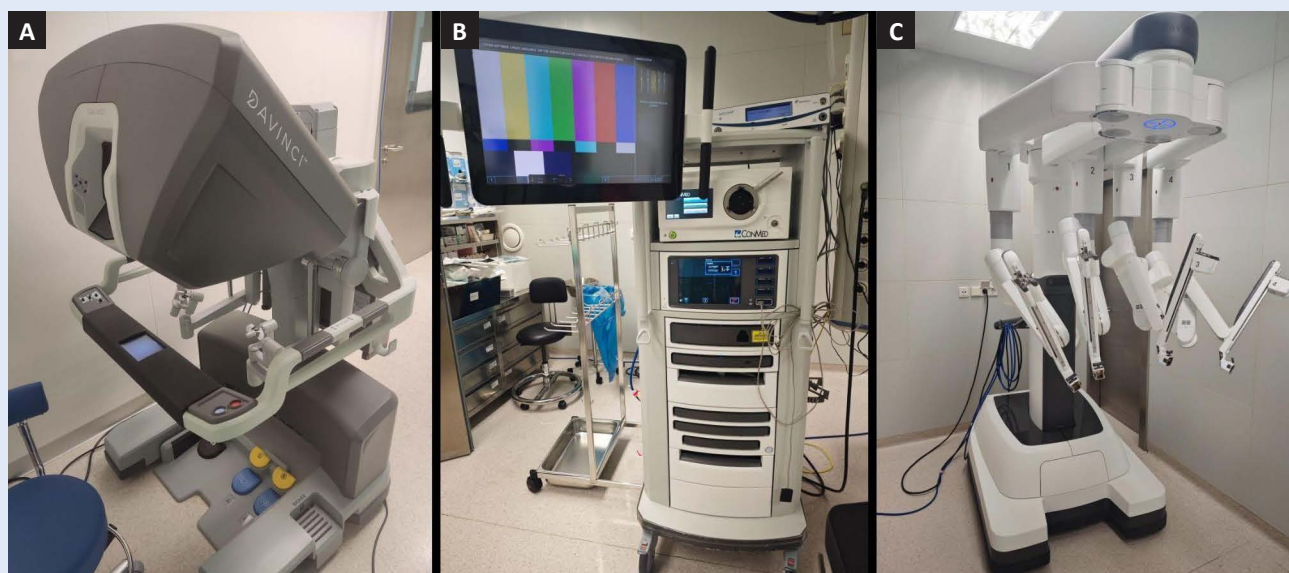
Globalno, robotika je u urologiji danas ušla u razdoblje više platformi – Da Vinci ostaje standard za sve urološke zahvate, dok ostale (Hugo, Versius, Senhance, Hinotori, Revo-i) šire dostupnost. Ubrzan je razvoj i integracija digitalnih alata i umjetne inteligencije.

Ključni iskorak dogodio se 2000. godine, kada je američka Uprava za hranu i lijekove (FDA) odobrila robotski sustav Da Vinci (Intuitive Surgical, SAD) za kliničku uporabu u općoj kirurgiji, a ubrzo zatim i u urologiji¹³. Napredne tehnološke karakteristike i bolja ergonomija u usporedbi s laparoskopijom, široka uporaba, brojne studije te dobar marketing omogućili su sustavu Da Vinci da postane sinonim za robotsku kirurgiju¹⁴. Ova evolucija od prvih eksperimentalnih uređaja do široke kliničke primjene pokazuje kako je urologija, s obzirom na ranu uključenost i brzu adaptaciju, postala jedno od vodećih područja u kojem se robotska kirurgija razvila i etablirala.

RAZDOBLJE ROBOTSKOG SUSTAVA DA VINCI

Nakon odobrenja za kliničku primjenu 2000. godine, robotski sustav Da Vinci tvrtke Intuitive Surgical ubrzo je zauzeo vodeću poziciju u kirurškoj praksi (Slika 1). Zahvaljujući tehničkim karakteristikama poput trodimenzionalne vizualizacije visoke rezolucije, eliminacije tremora i artikuliranih instrumenata s rasponom pokreta većim od ljudske ruke, sustav je omogućio izvođenje složenih zahvata s većom preciznošću i ergonomskom udobnošću za kirurga¹³.

Urologija je bila prva specijalnost koja je široko prihvatila sustav Da Vinci. Najznačajniji zahvat



Slika 1. Robotski sustav Da Vinci Xi: A – konzola kirurga (*Surgeon Console*), B – toranj s monitorom i procesorskim jedinicama (*Vision Cart*), C – robotsko postolje s četiri ruke (*Patient Cart*) (slike iz arhive KBC-a Zagreb)

bila je robotski asistirana radikalna prostatektomija (RARP), koja je ubrzo postala najčešće izvođena metoda liječenja lokaliziranog karcinoma prostate u razvijenim zemljama.⁴ Brojne studije pokazale su da RARP nudi prednosti u odnosu na otvorenu tehniku, uključujući manji gubitak krvi, kraći boravak u bolnici, brži oporavak te jednake onkološke i funkcionalne ishode^{15, 16}. Osim prostatektomije, sustav Da Vinci našao je primjenu i u drugim urološkim zahvatima. Robotska parcijalna nefrektomija omogućila je precizno odstranjivanje tumora uz maksimalno očuvanje bubrežnog parenhima, osobito u tehnički zahtjevnim slučajevima.⁷ Nadalje, robotska radikalna cistektomija s intrakorporealnom derivacijom urina pokazala se izvedivom i sigurnom metodom, iako uz zahtjevniju krivulju učenja⁸. Sustav se sve više koristi i u rekonstruktivnim zahvatima, poput pijeloplastike i ureteralnih reimplantacija¹⁷.

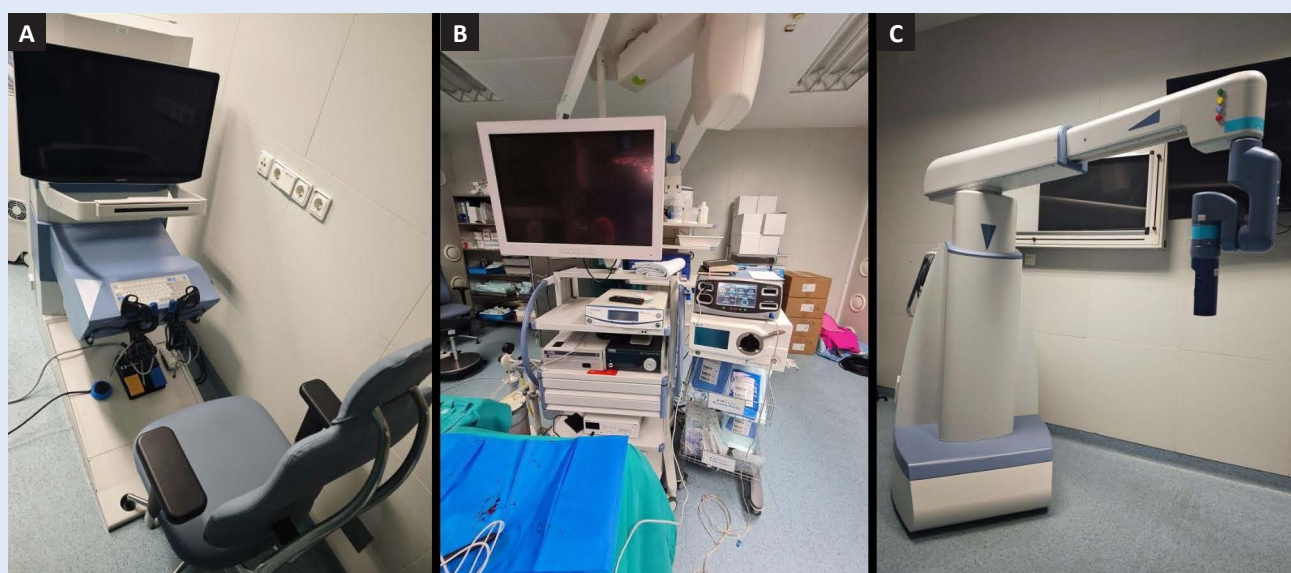
Jedan od ključnih razloga globalne dominacije Da Vincija bila je činjenica da dugo godina nije imao konkurenciju. To je rezultiralo ogromnom bazom iskustava, tisućama znanstvenih radova i stalnim tehničkim unaprjeđenjima kroz različite generacije sustava (od S i Si do Xi i X te SP-Single Port i najnovijeg sustava Da Vinci 5).¹⁴ Time je Da Vinci postavio standard prema kojem se danas uspoređuju novi sustavi.

ZLATNO DOBA ROBOTSKÉ KIRURGIJE

Nakon gotovo dvadeset godina tijekom kojih je Da Vinci bio praktički jedini komercijalno dostupan robotski sustav u kirurgiji, posljednjih nekoliko godina donijelo je značajnu promjenu. Pojava novih sustava, različitih proizvođača i s novim tehničkim rješenjima označila je ulazak u tzv. „zlatno doba“ robotske kirurgije, u kojem konkurencija potiče inovacije i postupno smanjuje troškove (Tablica 1). Prvi ozbiljniji konkurent bio je sustav Senhance (Asensus Surgical, SAD/Italija) (Slika 2), koji je 2014. godine dobio oznaku CE za europsko tržište, a 2017. i odobrenje FDA za uporabu u SAD-u. Njegova je glavna posebnost haptička povratna informacija i mogućnost korištenja standardnih troakara, čime se nastoji smanjiti trošak potrošnog materijala te otvorena konzola koja je omogućuje bolju ergonomiju za kirurga i lakšu komunikaciju s osobljem u sali¹⁸. Nakon toga, 2019. godine, britanska tvrtka CMR Surgical dobila je certifikat CE za svoj sustav Versius, modularnog dizajna s pojedinačnim robotskim rukama koje se mogu slobodno postavljati u operacijskoj dvorani. Prednost je ovoga sustava fleksibilnost i manji fizički „footprint“, što ga čini prikladnim i za operacijske sale koje su manjeg tlocrta i nisu posebno građene za velike robotske

Tablica 1. Pregled izabranih robotskih sustava

Robotski sustav	Proizvođač/zemlja	Godina prvog odobrenja (FDA/CE)	Glavne značajke
Da Vinci	Intuitive Surgical (SAD)	CE 1999., FDA 2000.	Najrašireniji sustav, 3D vizualizacija visoke rezolucije, instrumenti sa 7 stupnjeva slobode, višegeneracijski razvoj (S, Si, Xi, X, SP, 5); „zlatni standard“ u urologiji
Senhance	Asensus Surgical (SAD/Italija)	CE 2014., FDA 2017.	Otvorena konzola, haptički odaziv, manji troškovi instrumenata (ponovna upotreba), kompatibilnost sa standardnim trokarima, modularnost; KBC Zagreb među prvima u svijetu koristi ovu platformu u urologiji
Versius	CMR Surgical (Ujedinjeno Kraljevstvo)	CE 2019.	Modularne odvojene robotske ruke, mali „footprint“, fleksibilnost u postavljanju, jednostavnija instalacija; najviše se koristi u Europi
Hugo RAS	Medtronic (Irska/SAD)	CE 2021.	Modularni sustav, otvorena konzola za kontakt s timom, konkurencija Da Vinciju u urologiji i ginekologiji; instaliran u KBC-u Split
Revo-i	Meere Company (Južna Koreja)	Korejsko odobrenje 2016.	Dizajnom podsjeća na sustav Da Vinci, namijenjen domaćem tržištu; ograničena međunarodna prisutnost
Hinotori	Medicaroid (Japan)	Japansko odobrenje 2020.	Prvi japanski robotski sustav, klinički u uporabi u Japanu, koristi se za urološke i ginekološke zahvate
Toumai	MicroPort MedBot (Kina)	Kinesko odobrenje 2022.	Funkcionalno sličan Da Vinciju (3D, višezglobni instrumenti), razvijen kao kineska alternativa; korišten i u interkontinentalnoj telekirurgiji



Slika 2. Robotski sustav Senhance: A – konzola (Surgeon Console), B – centralna jedinica s monitorom (Vision Unit/Control Tower), C – jedna od četiriju zasebnih robotskih ruku (Robotic Arm) (slike iz arhive KBC-a Zagreb)

platforme¹⁹. Versius je već implementiran u više europskih i azijskih zemalja te se koristi i u urološkim zahvatima, uključujući prostatektomije i nefrektomije. U isto vrijeme Medtronic je razvio sustav Hugo RAS, koji je certifikat CE dobio 2021. godine kada je započela klinička evaluacija ovog sustava u europskim centrima²⁰. Sustav Hugo također koristi modularni koncept s odvojenim robotskim rukama te otvorenu konzolu koja

omogućuje kirurgu održavanje izravnog kontakta s operacijskim timom. Objavljene prve kliničke serije u urologiji, osobito za radikalnu prostatektomiju, pokazale su rezultate usporedive s onima ostvarenima sustavom Da Vinci²¹.

Paralelno, na azijskim tržištima razvijeni su nacionalni robotski sustavi. Sustav Revo-i (Meere Company, Južna Koreja) prvi je put klinički korišten 2016. godine, do sada je bio ograničen na južno-

korejsko tržište, ali je odnedavno dostupan i u nekoliko drugih zemalja²². Japanski sustav Hinotori (Medicaroid Corporation), odobren 2020. godine od japanskog Ministarstva zdravstva, rada i socijalne skrbi, trenutno se primjenjuje u nekoliko japanskih centara i također se koristi u urološkim zahvatima²³. U Kini je razvijen robotski sustav Toumai (MicroPort MedBot), koji je posljednjih godina sve češće predmet kliničkih istraživanja i demonstracija. Dizajnom i funkcionalnošću Toumai uvelike podsjeća na sustav Da Vinci, s višezglobnim instrumentima i trodimenzionalnom vizualizacijom, no nije njegova kopija već vlastito razvijeno rješenje koje nastoji ponuditi alternativu postojećem monopolu. Danas, na prijelazu trećeg desetljeća 21. stoljeća, situacija je bitno drukčija nego u doba monopola sustava Da Vinci. Intuitive Surgical i dalje drži daleko najveći tržišni udio, s više od 7500 globalno instaliranih sustava i milijunima izvedenih zahvata²⁴. Ipak, konkurenti poput sustava Hugo i Versius već su prisutni u desetcima centara i imaju sve veći broj publikacija, dok se azijski sustavi razvijaju i šire uglavnom na lokalnim tržištima. Ovakav pluralizam otvara novo razdoblje robotike u kirurgiji, u kojemu se očekuje daljnje širenje dostupnosti, smanjenje troškova i razvoj novih funkcionalnosti poput haptičke povratne informacije i integracije umjetne inteligencije.

ROBOTSKE UROLOŠKE OPERACIJE

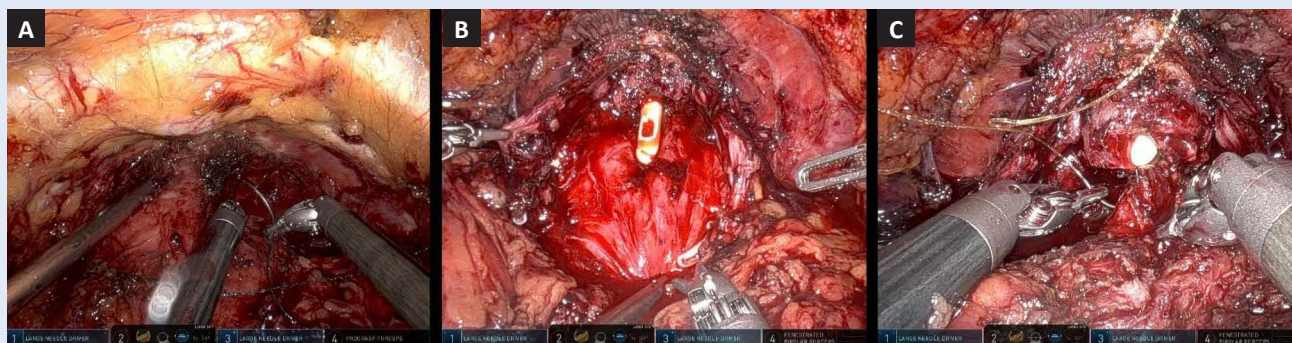
Urologija je područje medicine u kojemu je robotska tehnologija našla najširu i najbržu primjenu. Najveći broj robotskih zahvata globalno se izvodi upravo u ovoj specijalnosti, a najčešće procedure uključuju radikalnu prostatektomiju, parcijalnu i radikalnu nefrektomiju, radikalnu cistektomiju te različite rekonstrukcijske operacije.

Radikalna prostatektomija ostaje vodeći zahvat robotske kirurgije. Robotski asistiran pristup omogućuje bolju vizualizaciju neurovaskularnih snopova, preciznije šivanje i kontrolu krvarenja (Slika 3), što znači manji gubitak krvi, kraći boravak u bolnici i brži oporavak bolesnika u usporedbi s otvorenim pristupom¹⁵. Randomizirane i opservacijske studije pokazale su kako su onkološki ishodi usporedivi između robotskog, laparoskopskog i otvorenog pristupa, dok funkcionalni

ishodi (kontinencija i erektilna funkcija) u mnogim centrima potvrđuju prednost robotske kirurgije^{6, 16}.

Robotska parcijalna nefrektomija postala je metoda izbora za tumore bubrega manjih dimenzija. Prednost robotske tehnike jest u preciznijem odstranjivanju tumora i rekonstrukciji bubrežnog parenhima, što omogućuje kraće vrijeme ishemije i bolje očuvanje bubrežne funkcije⁷. Osim toga, primjena robota značajno olakšava izvođenje kompleksnih parcijalnih nefrektomija koje su tehnički zahtjevnije laparoskopskim pristupom. Robotska radikalna cistektomija s derivacijom mokraće predstavlja jedan od najsloženijih uroloških zahvata. Iako su perioperacijski rezultati slični onima kod otvorene kirurgije, robotski pristup donosi koristi zbog manjeg gubitka krvi i bržeg oporavka, a sve više centara izvodi i intrakorporealne derivacije mokraće, što dodatno naglašava potencijal ovoga pristupa⁸.

Robotska tehnologija sve se češće koristi i u rekonstrukcijskim zahvatima, uključujući pijeloplastiku, ureteralne reimplantacije i složene rekonstrukcije mokraćnog trakta. Ovi postupci posebno profitiraju zbog preciznosti i ergonomije koje omogućuje robotska platforma¹⁷. Osim standardnih, široko prihvaćenih operacija, roboti imaju mjesto i u operacijama manjeg opsega. Robotske adrenalektomije pokazale su da sustav omogućuje preciznu disekciju i sigurnu resekciju nadbubrežnih žlijezda²⁵. Retroperitonealne limfadenektomije u liječenju germinativnih tumora testisa tehnički su vrlo zahtjevne, ali iskustva vodećih centara pokazuju da robotski pristup može smanjiti perioperacijski morbiditet uz očuvanje onkološke učinkovitosti²⁶. Posebno zanimljiv iskorak predstavlja robotski asistirano presađivanje bubrega, prvi put izvedeno u Indiji 2011. godine. Danas se izvodi u tek nekoliko visoko specijaliziranih centara, no rezultati pokazuju usporedive ishode s otvorenim transplantacijom, uz dodatnu korist kod pretilih bolesnika zbog smanjenja rizika od komplikacija rane^{27, 28}. Uz kirurške ishode, sve se više pozornosti posvećuje i ekonomskim aspektima robotske kirurgije. Troškovi nabave, održavanja i potrošnog materijala značajno su viši u usporedbi s laparoskopijom i otvorenim kirurgijom. Međutim, konkurencija na tržištu i pojava novih sustava doveli su do postupnog snižavanja cijena i otvaraju



Slika 3. Radikalna prostatektomija rađena robotskim sustavom Da Vinci: A – šav dorzalnog vaskularnog kompleksa, B – očuvani neurovaskularni snopovi, C – šivanje vezikouretralne anastomoze (slike iz arhive KBC-a Zagreb)

perspektivu šire dostupnosti robotike. Dugoročno, smanjenje perioperacijskih komplikacija i kraći boravak u bolnici mogu barem djelomično kompenzirati visoke inicijalne troškove²⁹.

ROBOTSKA KIRURGIJA U UROLOGIJI U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj su prve robotski asistiranje urološke operacije izvedene u KBC-u Zagreb, i to pomoću robotskog sustava Senhance (Asensus Surgical). Program je započeo u svibnju 2019. godine operacijama gornjeg urotrakta (bubrežne ciste, adenalektomije, nefrektomije i pijeloplastike), a ubrzo potom i prvom robotom asistiranim radikalnom prostatektomijom^{30, 31}. S vremenom je u KBC-u

Zagreb robotom asistirana radikalna prostatektomija postala rutinski i standardni zahvat, dok je otvorena radikalna prostatektomija rezervirana uglavnom za pacijente s kontraindikacijom za laparoskopiju i robotiku³². Daljnji napredak dogodio se instalacijom platforme Da Vinci u KBC-u Zagreb u srpnju 2024. godine, te se danas uz RARP u tom centru izvode i parcijalne nefrektomije, radikalne nefrektomije, pijeloplastike, adenalektomije, retroperitonealne limfadenektomije, nefroureterektomije, a učinjena je i prva u Hrvatskoj robotom asistirana radikalna cistektomija uz derivaciju urina po Brickeru (Tablica 2). Robotom asistiranje urološke operacije danas se, osim u KBC-u Zagreb, izvode i u Klinici za urologiju Kliničkog

Tablica 2. Robotom asistiranje operacije koje se izvode u Klinici za urologiju Kliničkog bolničkog centra Zagreb

Tip operacije	Senhance (svibanj 2019. – kolovoz 2025. godine)	Da Vinci (lipanj 2024. – kolovoz 2025. godine)	Ukupno
Radikalna prostatektomija	N = 916	N = 199	N = 1115
Parcijalna nefrektomija	/	N = 79	N = 79
Pijeloplastika	N = 4	N = 9	N = 13
Radikalna nefrektomija	/	N = 4	N = 4
Jednostavna nefrektomija (afunkcionalni bubreg)	N = 6	/	N = 6
Adrenalektomija	N = 12	N = 4	N = 16
Nefroureterektomija	/	N = 1	N = 1
Parcijalna adrenalektomija	/	N = 1	N = 1
RPLND	/	N = 1	N = 1
Cistektomija	/	N = 1	N = 1
Ekscizija ciste bubrega / nadbubrežne žlijezde	N = 11	/	N = 11
Ukupno	N = 949	N = 299	N = 1248

RPLND = retroperitonealna limfadenektomija

bolničkog centra Split, gdje je instaliran Hugo RAS (Medtronic) te u IMC-u Piora u Čepinu, gdje se koristi Da Vinci (Intuitive Surgical).

BUDUĆNOST ROBOTSKA KIRURGIJE

Budućnost robotske kirurgije u urologiji obilježit će daljnji tehnološki napredak i integracija novih digitalnih alata. Očekuje se sve veća uloga umjetne inteligencije (AI) u prepoznavanju anatomskih struktura, navigaciji tijekom operacije i intraope-

U Hrvatskoj je robotika u urologiji započela 2019. godine u KBC-u Zagreb s robotskim sustavom Senhance, a 2024. instaliran je Da Vinci. Danas je robotika dostupna u još dvjema ustanovama – KBC-u Split (Hugo) i IMC-u Piora (Da Vinci).

rativnom donošenju odluka, što bi moglo dodatno povećati sigurnost i preciznost³³. Virtualna i proširena stvarnost (VR/AR) već se koriste u edukaciji i simulaciji, a u budućnosti bi mogle postati sastavni dio intraoperativnog vođenja složenih zahvata³⁴. Razvoj novih generacija robota također ide u smjeru manjih, modularnih i fleksibilnijih sustava koji će biti dostupniji i ekonomičniji. Integracija napredne haptike i daljinske kirurgije mogla bi otvoriti nove mogućnosti, osobito u regijama s ograničenom dostupnošću specijalizirane zdravstvene skrbi³⁵. Unatoč svemu, roboti trenutno neće zamijeniti kirurge, već će za sada ostati sofisticirani alati koji nadopunjuju kirurške vještine. Ljudsko znanje, iskustvo i kliničko prosuđivanje ostat će nezamjenjivi, dok će tehnologija igrati ulogu u povećanju učinkovitosti, sigurnosti i dostupnosti operacija.

ZAKLJUČAK

Robotska kirurgija u urologiji tijekom posljednjih dvadesetak godina doživjela je iznimno brz razvoj i postala jedna od najdinamičnijih grana suvremene kirurgije. Od pionirskih laparoskopskih zahvata i prvih robotskih prostatektomija do današnjih kompleksnih procedura poput intrakorporealne derivacije urina ili robotski asistirane transplantacije bubrega, urologija je ostala u samom vrhu prihvaćanja novih tehnologija.

Uvođenje konkurentnih sustava nakon ere monopola platforme Da Vinci otvorilo je „zlatno doba“ robotske kirurgije, obilježeno širenjem tržišta, smanjenjem troškova i sve većom dostupnošću. Hrvatska se u ovaj razvoj uključila programom Senhance u KBC-u Zagreb, a danas se robotske urološke operacije izvode i u drugim ustanovama uz kontinuirano širenje indikacija.

Budućnost će obilježiti daljnja minijaturizacija i modularizacija robota, integracija umjetne inteligencije te uporaba virtualne i proširene stvarnosti, ali ključna uloga kirurga ostat će nezamjenjiva. Robotika će i dalje služiti kao sofisticirani alat koji kirurgu omogućuje veću preciznost i sigurnost, a krajnji cilj ostaje isti – bolji ishodi i kvaliteta života bolesnika.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se urološkim anesteziolozima, anesteziološkim tehničarkama i tehničarima, urološkim instrumentarkama, instrumentarima i tehničarima iz sale, svim urološkim sestrama s odjela, poliklinike i dnevne bolnice Kliničkog bolničkog centra Zagreb na timskom radu i skrbi za urološke bolesnike.

Izjava o sukobu interesa: Autori izjavljuju da ne postoji sukob interesa.

LITERATURA

1. Clayman RV, Kavoussi LR, Soper NJ, Dierks SM, Meretyk S, Darcy MD et al. Laparoscopic nephrectomy: initial case report. *J Urol* 1991;146(2):278-82.
2. Abbou CC, Salomon L, Hoznek A, Antiphon P, Cicco A, Saint F et al. Laparoscopic radical prostatectomy: preliminary results. *Urology* 2000;55(5):630-4.
3. Soputro NA, Dias BH, Kochikar MV, Corcoran NM, Agarwal DK. A historical perspective of the evolution of laparoscopic surgeries in urology. *J Endourol* 2022;36(10):1277-84.
4. Binder J, Kramer W. Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 2001;87(4):408-10.
5. Patel VR, Thaly R, Shah K. Robotic radical prostatectomy: outcomes of 500 cases. *BJU Int* 2007;99(5):1109-12.
6. Novara G, Ficarra V, Rosen RC, Artibani W, Costello A, Eastham JA et al. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2012;62(3):431-52.
7. Novara G, La Falce S, Kungulli A, Gandaglia G, Ficarra V, Mottrie A. Robot-assisted partial nephrectomy. *Int J Surg* 2016;36(Pt C):554-9.
8. Yuh B, Wilson T, Bochner B, Chan K, Palou J, Stenzl A et al. Systematic review and cumulative analysis of oncologic and functional outcomes after robot-assisted radical cystectomy. *Eur Urol* 2015;67(3):402-22.

9. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 1988; 35(2):153-60.
10. Davies BL, Hibberd RD, Coptcoat MJ, Wickham JE. A surgeon robot prostatectomy—A laboratory evaluation. *J Med Eng Technol* 1989;13(6):273-7.
11. Paul HA, Bargar WL, Mittlestadt B, Musits B, Taylor RH, Kazanzides P et al. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1992;285:57-66.
12. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001 Sep 27;413(6854):379-80. Erratum in: *Nature*. 2001;414(6865):710.
13. Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg* 2004; 239(1):14-21.
14. Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg* 2016;40(10):2550-7.
15. Yaxley JW, Coughlin GD, Chambers SK, Occhipinti S, Samaratunga H, Zajdlewicz L et al. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: early outcomes from a randomized controlled phase 3 study. *Lancet* 2016;388(10049):1057-66.
16. Ficarra V, Novara G, Ahlering TE, Costello A, Eastham JA, Graefen M et al. Systematic review and meta-analysis of studies reporting potency rates after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2012;62(3):418-30.
17. Ballouhey Q, Esposito C, Taghavi K, Lardy H, Berte N, Abbo O et al. Robot-assisted surgery in pediatric patients: results of a French multicenter study on 1401 patients. *J Pediatr Surg* 2025;60(8):162397.
18. Samalavicius NE, Janusonis V, Siaulyš R, Jasėnas M, Deduchovas O, Venckus R et al. Robotic surgery using Senhance® robotic platform: single center experience with first 100 cases. *J Robot Surg* 2020;14(2):371-6.
19. Pisani Ceretti A, Mariani NM, Perego M, Giovenzana M, Salaj A, Formisano G et al. Proposal of set-up standardization for general surgery procedures with the CMR Versius system, a new robotic platform: our initial experience. *Langenbecks Arch Surg* 2024;409(1):107.
20. Ragavan N, Bharathkumar S, Chirravur P, Sankaran S, Motttrie A. Evaluation of Hugo RAS system in major urologic surgery: our initial experience. *J Endourol* 2022; 36(8):1029-35.
21. Bravi CA, Balestrazzi E, De Loof M, Rebuffo S, Piramide F, Mottaran A et al. Robot-assisted radical prostatectomy performed with different robotic platforms: first comparative evidence between Da Vinci and HUGO robot-assisted surgery robots. *Eur Urol Focus* 2024;10(1): 107-14.
22. Lim JH, Lee WJ, Choi SH, Kang CM. Cholecystectomy using the Revo-i robotic surgical system from Korea: the first clinical study. *Updates Surg* 2021;73(3):1029-35.
23. Ozawa K, Watanabe H, Watanabe K, Matsushita Y, Tamura K, Motoyama D et al. Robot-assisted partial nephrectomy for multiple synchronous renal tumors in unilateral kidney using Hinotori Surgical System: a case report. *IJU Case Rep* 2025;8(5):475-9.
24. Intuitive Surgical. Annual Report 2023. Available at: <https://isrg.intuitive.com>
25. Yiannakopoulou E. Robotic assisted adrenalectomy: Surgical techniques, feasibility, indications, oncological outcome and safety. *Int J Surg* 2016;28:169-72.
26. Pearce SM, Golan S, Gorin MA, Luckenbaugh AN, Williams SB, Ward JF et al. Safety and early oncologic effectiveness of primary robotic retroperitoneal lymph node dissection for nonseminomatous germ cell testicular cancer. *Eur Urol* 2017;71(3):476-82.
27. Menon M, Abaza R, Sood A, Ahlawat R, Ghani KR. Robotic kidney transplantation with regional hypothermia: evolution of a novel procedure utilizing the IDEAL guidelines. *Eur Urol* 2014;65(5):1001-9.
28. Breda A, Territo A, Gausa L, Tuğcu V, Alcaraz A, Musquera M et al. Robot-assisted kidney transplantation: The European experience. *Eur Urol* 2018 Feb;73(2):273-81.
29. Ikoma N. What defines the “value” of robotic surgery for patients with gastrointestinal cancers? Perspectives from a U.S. Cancer Center. *Ann Gastroenterol Surg* 2024 Mar 21;8(4):566-79.
30. Kastelan Ž, Hudolin T, Kuliš T, Knežević N, Penezić L, Marić M, Zekulić T. Upper urinary tract surgery and radical prostatectomy with the Senhance® robotic system: single center experience — first 100 cases. *Int J Med Robot* 2021;17(4):e2269.
31. Kaštelan Ž, Knežević N, Hudolin T, Kuliš T, Penezić L, Goluža E et al. Extraperitoneal radical prostatectomy with the Senhance Surgical System robotic platform. *Croat Med J* 2019;60(6):556-559.
32. Hudolin T, Kuliš T, Penezić L, Zekulić T, Knežević N, Čikić B, et al. Senhance robotic radical prostatectomy: a single-centre, 3-year experience. *Int J Med Robot* 2023; 19(6):e2549. doi:10.1002/rcs.2549.
33. Hung AJ, Chen J, Gill IS. Automated performance metrics and machine learning algorithms to measure surgeon performance and predict clinical outcomes in robotic surgery. *JAMA Surg* 2018;153(7):631-2.
34. Porpiglia F, Fiori C, Checcucci E, Amparore D, Bertolo R. Augmented reality robot-assisted radical prostatectomy: preliminary experience. *World J Urol* 2018;36(3):437-42.
35. Yang GZ, Cambias J, Cleary K, Daimler E, Drake J, Dupont PE et al. Medical robotics-regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy. *Sci Robot* 2017;2(4):eaam8638.