

## MEDICINA - PERSPEKTIVNO PODRUČJE PRIMJENE ROBOTIKE

### MEDICINE – A PROMISING AREA FOR THE DEPLOYMENT OF ROBOTICS

**Gojko Nikolić**

*Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska*

#### Sažetak

U radu su opisana dostignuća primjene robotike u medicini. Obradeni su posebno kirurški roboti i opisani predstavnici različitih robota ovisno o području medicine. Prikazani su roboti namijenjeni pomoći u bolnicama, kod kuće i u domovima umirovljenika. Istaknuta je prednost tzv. nadzornih odnosno komunikacijskih robota, koji bi imali svoju primjenu u udaljenim ili malim mjestima. Prikazana su najnovija dostignuća kod izrade proteza upravljanih signalima iz mozga, te drugih temeljenih na interakciji pacijenta i protetičkog uređaja. Posebno je istaknuta problematika neurokirurgije i rješenje hrvatskog dvoručnog neurokirurškog robota "Ronna", koji je uspješno prošao predkliničko testiranje i priprema se za prvu operaciju u funkciji asistenta neurokirurga. Na kraju prikazani su minijaturni roboti koji se koriste u dijagnostici i liječenju probavnog trakta, te pravci razvoja budućih medicinskih mini i nano robota.

**Ključne riječi:** *medicinski roboti, rehabilitacijski roboti, robotske proteze, kirurški roboti*

#### Abstract

The paper describes the achievements of the application of robotics in medicine. Special interest is shown in surgical robots and the representatives of robots in different fields of medicine are described. Robots designed to help in hospitals, at home and in retirement homes are also presented. The advantage of the so-called supervisory and communication robots, which would have their application in remote or small towns, is emphasized. The paper presents the latest developments in prosthetic controlled signals from the brain and those based on the interaction between the patient and the prosthetic

device. Special focus is on specific aspects of neurosurgery and the solution in the form of two-handed Croatian neurosurgical robot "Ronna", which has successfully passed preclinical testing and is presently being prepared for its first operation as an assistant neurosurgeon. Finally, there is a presentation of miniature robots that are used for diagnosing and treatment of digestive tract, and also directions for the future development of medical mini and nano robots.

**Keywords:** *medical robots, rehabilitation robots, robotic prostheses, surgical robots*

#### 1. Uvod

##### 1. Introduction

Primjena robota je prisutna u svim područjima ljudske djelatnosti i smatra se da je to jedan od najznačajnijih pravaca razvoja čovječanstva u 21 stoljeću. Sukladno zadacima koji su mu namijenjeni, poprimiti će razna tehnička rješenja za koja već danas znamo da će biti kombinacija bioloških, odnosno organskih i anorganskih materijala, umjetne inteligencije. Već sada se eksperimentira sa stvaranjem robota izrađenih potpuno od "žive materije", odnosno genetski modificiranih organizama koji obavljaju programirane funkcije. Poimanje robotike postupno se mijenja u odnosu na one namjene isključivo za industrijske svrhe [1].

Primjena robota u medicini (dijagnostika, kirurgija, skrb o bolesnicima, rehabilitacija i sl.) nije bila značajnije zastupljena u primjeni, a danas je to jedno od najperspektivnijih područja u koju se ulažu značajna financijska sredstva i znanstveni resursi i očekuju skori značajni rezultati. Očekuje se i jednako intenzivna primjena u, po mnogo

čemu sličnim, poslovima namijenjenih za rad kod kuće, u staračkim domovima, za edukaciju djece, za igru i za druge poslove za koje se nije ni moglo misliti da bi ih mogli raditi roboti. Za te robote obično se koristi naziv *uslužni* roboti.

## 2. Medicinska robotika

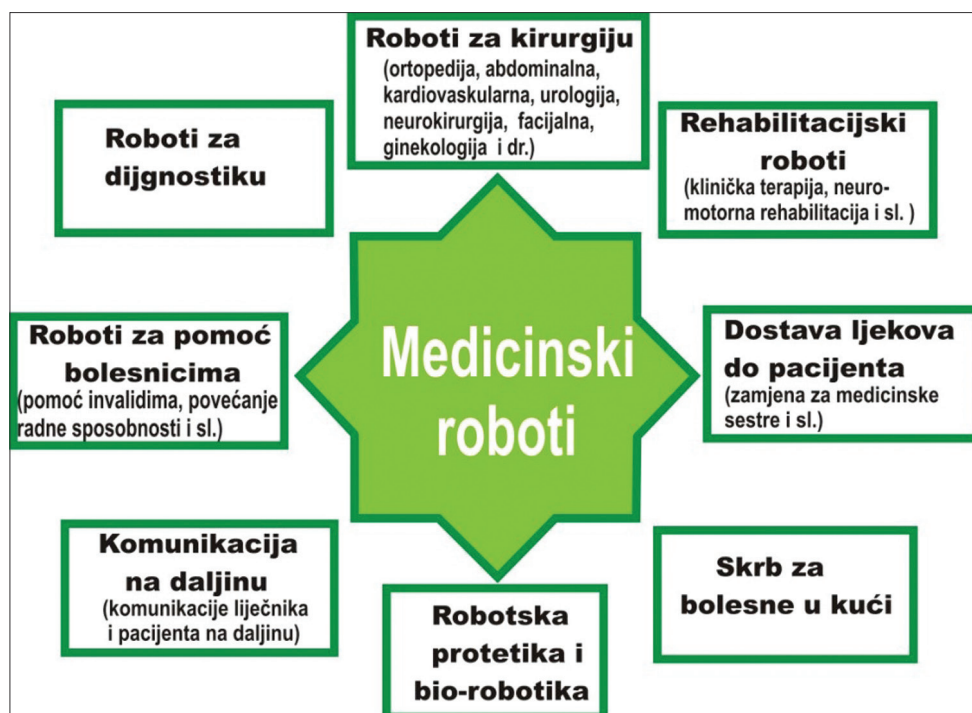
### 2.1. Medical robotics

Povijest primjene robota u medicini je novijeg datuma tek zadnjih dvadesetak godina ali ima sve značajniji utjecaj. Morali su dostići odgovarajući razvoj i visoku sigurnost rada kako bi se mogli koristiti u medicini. Roboti kao pomoć kirurzima već se primjenjuju u svim područjima medicine od oftalmologije, urologije, ginekologije, kardiologije, neurologije, ortopedije, ali i u drugim medicinskim djelatnostima kao što je fizioterapija, pomoć nepokretnim bolesnicima, distribucija lijekova po bolesničkim sobama, nadzor pacijenata, udaljena komunikacija s pacijentom i medicinskim osobljem i mnogim drugima. Nove robotske primjene nalažu nova rješenja, kako u pogledu konstrukcije, tako i u metodama upravljanja, primjeni novih materijala i senzora. Medicinski roboti odličan su primjer sinergije medicine i tehnike. Robot ne zamjenjuje kirurga, on je njegova dodatna ruka i mikroskopske oči. S aspekta složenosti,

preciznosti i pouzdanosti najzahtjevnija je robotska kirurgija. Već i početna primjena donosi dobre rezultate. Mnogi pacijenti zahtijevaju čak i dodatno financiraju operaciju npr. s robotom “da Vincijem”, jer se pokazalo, da se operacija obavlja kvalitetnije i s manje traume za pacijenta od klasične laporaskopske operacije. Prednosti primjene robotike u medicini su: veća kvaliteta rada i produktivnost, povećana sigurnost i izbjegavanje rizika, povećana operativnost, fleksibilnost itd.

Opća podjela, još iz dominacije industrijskih robota, zadržala se na dvije skupine na industrijske i servisne robote. Po toj podjeli servisni roboti u medicini grupirani su prema područjima djelovanja i to na: dijagnostičke, asistente ili pomagače, rehabilitacijske i ostale. Danas se ta podjela uglavnom izbjegava, i roboti se označavaju prema namjeni koju rade poput: medicinski kirurški roboti, dijagnostički, roboti za pomoć bolesnicima, roboti u kući, vojni roboti itd. Naziv servisni se još rabi kada su oni isključivo uslužni poput onih za pružanje pomoći bolesnicima i hendikepiranim osobama.

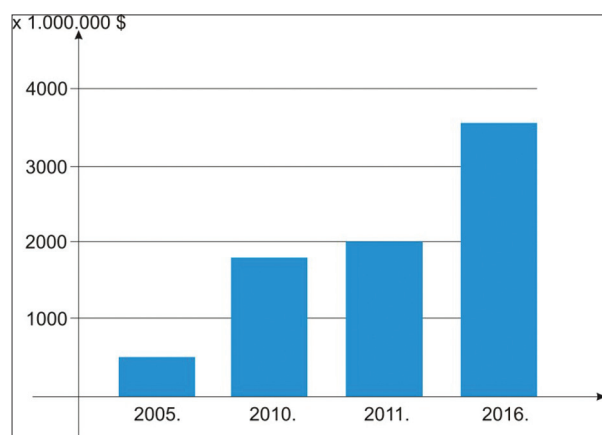
Razvoj medicinskih robota, slika 1, usmjeren je u skoro sva područja medicine. Skoro da nema područja gdje nisu ili se ne razvijaju roboti za tu namjenu. Teško ih je sve opisati, ali u tekstu biti će prikazani oni najinteresantniji koji su razvijeni i u



Slika 1  
Razvoj medicinskih robota

Figure 1  
Development of medical robots

upotrebi su. Ulaganja u razvoj i primjenu robotike u medicini, kako je već rečeno, ima najbrži rast i ulaganja postaju najznačajnija, slika 2 [3].



**Slika 2** Robotika je najbrže rastući segment medicinske tehnike (11,5%) [3]

**Figure 2** Robotics is the fastest growing segment of medical technology (11.5%) [3]

Uređaje koje nazivamo robotom ne odgovaraju više temeljnim definicijama robota (RIA, JIRA, ISO i dr.) jer je razvoj robota daleko odmakao od tih definicija koje su opisivale isključivo industrijskog robota [4]. Danas je zapravo teško donijeti opću definiciju što je robot jer se isprepliću s pojmom automatiziranih i sofisticiranih uređaja. Trebaju imati kao i automatizacija senzorske, aktuatorske i upravljačke sustave, ali je presudno da dobivaju određenu samostalnost u “odlučivanju” i koriste određene funkcije umjetne inteligencije u obavljanju zacrtanih zadataka. Postoje široke mogućnosti različitih rješenja što ovisi o području primjene, kao i davanju stupnja samostalnosti “odlučivanja” robotu.

## 2.1 Roboti za pomoć i poboljšanje života pacijenata

### 2.1 Robots for assistance and improvement of patients' lives

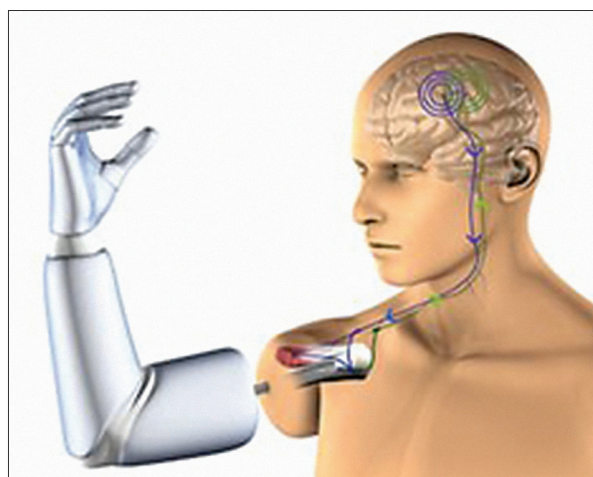
U ovu skupinu robota ili robotiziranih, odnosno automatiziranih, uređaja spadaju: proteze i ortoze, rehabilitacijski roboti, roboti koji pružaju pomoć nepokretnim bolesnicima u bolnicama i kod kuće, roboti za daljinski nadzor i komunikaciju pacijenta i liječnika, roboti za dostavu lijekova

i drugih potreština pacijentima ili nemoćnima bilo u bolnici ili kod kuće, roboti koji omogućuju samostalnost nesamostalnim, paraliziranim bolesnicima itd. itd.

### 2.1.1 Robotizirane proteze i ortoze

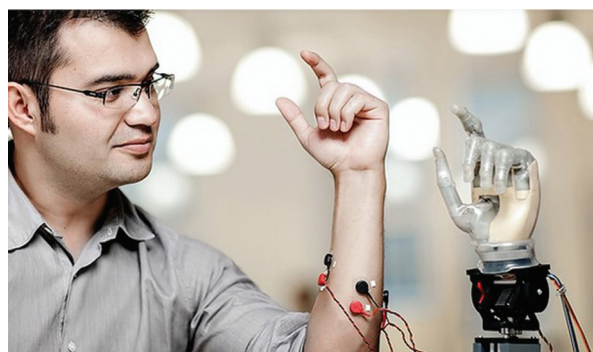
#### 2.1.1 *Robotic prostheses and orthoses*

Dugotrajna istraživanja sa ciljem kako kvalitetnije upravljati protezama direktno impulsima iz mozga dovela su do ohrabrujućih rezultata. Već 2013. na University of Technology u Švedskoj ugrađena je takva umjetna ruka (proteza). Pacijent može kontrolirati više zglobova. Umjetna ruka se usađuje u kost a “mišići” umjetne ruke povezani su sa živčanim završecima, slika 3. Postignuta je realnija reprodukcija gibanja poput normalnog pokretanja udova, slika 4. [5]



**Slika 3** Načelo povezivanja umjetne ruke na amputirani dio [5]

**Figure 3** The principle of linking an artificial hand on the amputated part [5]



**Slika 4** Pomak umjetne šake preko impulsa dobivenih iz mozga [5]

**Figure 4** The movement of an artificial fist through impulses received from the brain [5]



Na Hopkins University znanstvenici također već više od deset godina rade na umjetnim rukama koji pokreću impulsi iz mozga. Prošlog ljeta Les Baugh-u koji je ostao bez obje ruke pred 40 godina montirali su obje umjetne ruke, slika 5. Podvrgnuli su ga zahvatu u kojem su živcima, koji su upravljali nekada njegovim rukama, dali nove zadaće spojivši ih na robotske ruke. U samo 10 dana treninga već je mogao vlastitim mislima i robotskim rukama prebaciti šalice s jedne police na drugu. Baugh je prvi čovjek koji je istodobno ima dvije umjetne robotizirane ruke s kojima može upravljati mislima [6].

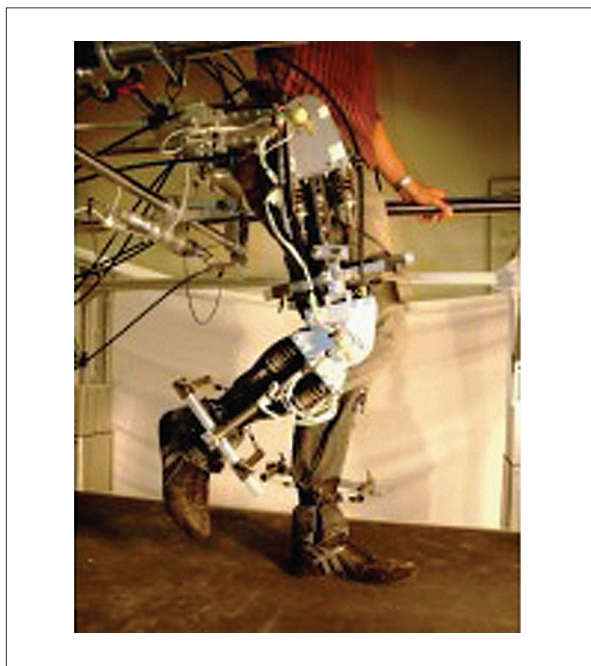


**Slika 5** Ispitanik Les Baugh s dvije robotske ruke s kojima upravlja mozgom [6]

**Figure 5** Respondent Les Baugh with two robotic arms controlled by the brain [6]

Kod moždanog udara važna je rehabilitacija i ponovno učenje hodanja. Ponovno hodanje je bitno za normalnu integraciju u društvo i ima utjecaj na cjelokupno zdravlje pacijenta. Nizozemska tvrtka Lopes (Lower Extremity Powered ExoSkeleton) proizvela je uređaj, slika 6, kao ekzoskelet za rehabilitaciju bolesnika sa slabom pokretljivošću donjih udova. Namijenjen je za ponovo stjecanje motoričkih vještina [7].

Japanski ekzoskelet HAL (*Hybrid Assistive Limb*) namijenjen je da pomogne pacijentima nakon moždanog udara, kao i drugih mišićnih bolesti koje izazivaju slične poteškoće u kretanju, slika 7. Egzoskeletom se upravlja električnim bio-signalima koje hvataju postavljeni senzori po tijelu, s kojima ljudski mozak upravlja mišićima. Korisniku tog ekzoskeleta, ili kako je još nazvan “robotskim odijelom” omogućeno je hodanje, penjanje i spuštanje stepenicama, sjedenje i obavljanje sličnih pokreta koje čovjek u svojem kretanju ostvaruje [4] [8].



**Slika 6** Ekzoskelet tvrtke Lopes za rehabilitaciju pokretljivosti donjih udova [7]

**Figure 6** Exoskeleton company Lopes for the rehabilitation of lower limb mobility [7]



**Slika 7** Japanski ekzoskelet HAL namijenjen pomoći bolesnicima kod raznih bolesti mišićne motorike [4]

**Figure 7** Japanese HAL exoskeleton designed to help patients with various diseases of muscle motoric skills [4]

Zajednička karakteristika tih robotiziranih proteza i ortoza je što oni nisu pasivni pomagači u kretanju udova pacijenta, kao što su to bile prethodne generacije tih uređaja, već su aktivni sofisticirani uređaji (roboti) koji se prilagođavaju svakom pokretu i omogućavaju normalniji život hendikepiranima, odnosno “sudjeluju” u pomaganju kretanja pacijenta.

Samostalan život je nemoguć za nepomične bolesnike koji pate od multipl skleroze,



palaplegičare, tetraplegičare, bolesnike s mišićnim bolestima i paralizama. Za njihovo samostalno kretanje i koliko toliko normalniji način života u okruženju, razrađene su različite verzije autonomnih kolica koje su osim različitih mogućnosti kretanja opremljene i manipulatorom za dohvat i uzimanje predmeta, hranjenje, i sl. slika 8. Kolica na slici nazvana su “Friend 3” (prijatelj 3) [9].



**Slika 8** “Friend 3” robot kolica za paraplegičare [9]

**Figure 8** “Friend 3” robotic wheelchair for paraplegics [9]

Iz Japana stalno dolazi niz novih rješenja namijenjenih pomoći bolesnicima, invalidima, starim i nemoćnim osobama. U bolnicama roboti omogućavaju polaganje i podizanje iz u kreveta, dovođenje na WC, posjedanje na stolce ili u fotelju nepokretne i teške pacijente i sl. (slika 9) [10].

Osobama s paraliziranim nogama kod kojih postoji još funkcija u preponama razvijen je uređaj koji paralizirani dio noge njiše u ritmu hoda i osoba može hodati. Senzori koji detektiraju pokrete mišića nalaze se na bokovima kao i prijenosni pogon. Senzori na stopalima daju signal o dodirivanju tla. Sve te informacije od senzora omogućavaju elektroničkom sklopu pravilno njihanje nogu i ravnomjeran hod, slika 10 [11] [12].

Znatna skupina robota postoji kao pomoć medicinskom osoblju kod njege bolesnika u bolnicama, kod kuće, komuniciranje udaljenog liječnika s medicinskim osobljem ili bolesnikom, vizualni pregled bolesnika i sl. Uloga tih



**Slika 9** Toyotin robot u bolnicama ili kod kuće za prijenos nepokretnih i teških bolesnika [10]

**Figure 9** Toyota's robot for hospitals or at home for the transfer of immovable or seriously ill patients [10]



**Slika 10** Proteza koja omogućava hod s paraliziranom nogom [12]

**Figure 10** Prosthesis that allows walk with the paralyzed leg [12]

robota je i dostava lijekova do bolesnika (robot “medicinska sestra”).

Jedan od velikih problema današnjice s kojima se susreću visoko razvijene zemlje je starenje pučanstva i osiguranje odgovarajuće skrbi za njih. Posebno je ta zabrinutost izražena u Japanu, čije stanovništvo stari brže od njihove trenutne infrastrukture koja je spremna da se nosi s tim problemom.

U Njemačkoj u Institutu “Fraunhofer” je razvijen prototip robota Care-O-Bot, slika 11.

Namijenjen je za rad u domovima umirovljenika gdje svojim vlasnicima donosi hranu i piće, podsjeća ih da je vrijeme za uzimanje lijekove. Upozorava ih na omiljene emisije na televiziji. U slučaju bilo kakve opasnosti ili problema odmah obavještava hitnu pomoć. Robot se izvrsno kreće u prostoru predviđenom za ljudski boravak. Upravljanje s njima je glasovno, a sposoban je naučiti i nove glasovne komande.

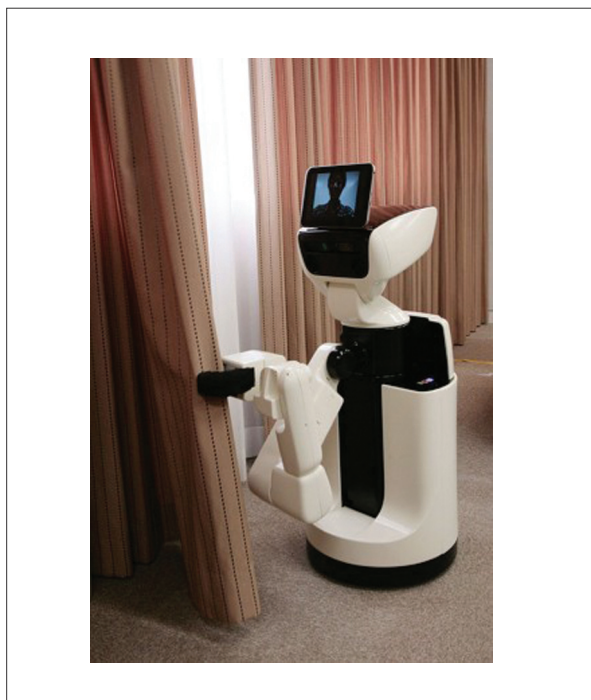


**Slika 11** Robot Care-O-Bot 3 za kućanstvo i domove umirovljenika [13]

**Figure 11** Robot Care-O-Bot 3 for household and retirement homes [13]

Za kvalitetan rad takvog robota valjalo je riješiti mnoge probleme. Trebalo je riješiti kretanje robota među ljudima, orijentaciju, manipulativne sposobnosti, otkrivanje i prepoznavanje objekata i osoba. Za razliku od industrijskih robota kod kojih je sređena okolina u kojoj rade, ovi roboti rade u potpuno nepredvidivom okruženju u kojem se odmah moraju snaći. Predvidivi objekti i njihovo prepoznavanje je dio programa, ali nastaje problem pojavom novih objekata, novih pojedinaca [13].

Robot za slične namjene je i Toyotin HSR (Human Support Robot) namijenjen za rad u kući, slika 12. Upravlja se glasovnim naredbama ili pomoću tableta, odnosno PC-ja. Sposoban je podizati predmeta s



**Slika 12** Toyotin HSP robot za pomoć osobama u kući [14]

**Figure 12** Toyota HSP robot for assistance to people in their houses [14]

podu, dohvatiti predmet s visokih polica i obavljati određene kućanske poslove [14].

U manjim mjestima ili na udaljenim lokacijama liječnik specijalista može biti "prisutan" jer mu to omogućuju roboti putem TelePresence. TelePresence je daleko učinkovitiji od telefonskog poziva. Robot se može kretati, glasovno interaktivno komunicirati kao na Skype-u, liječnik promatra bolesnika i s njim komunicira. Neki su dobili i svoja imena kao npr. "Ava" [12] [15]. U drugom slučaju korištenjem robota imena "Rod" liječnik s udaljenog mjesta u stanju je procijeniti da li pacijent treba biti premještena u bolje opremljenu bolnicu, jer njegovo zdravstveno stanje to zahtjeva. Liječnik upravlja joystickom kretanjem robota kroz hodnike, sobe, okreće po volji kameru može interaktivno komunicirati s pacijentom putem zaslona na vrhu "Rodovog" kućišta. Po potrebi uz pomoć medicinske sestre, koja spajanja stetoskopa s robotom a drugi njegov kraj stavlja na pacijentova pluća ili srce, liječnik može kontrolirati pacijentovo zdravlje, stanje pluća i srca, slika 13. TelePresence roboti poput "Roda" ili "Ave" donose specijalistička znanja gdje god je to potrebno, bez obzira na mjesto. Nažalost zbog visoke cijene od 95.000 \$. takvi roboti nisu u svakoj ambulanti ili udaljenim malim bolnicama. US agencija FDA (Food and drug



administration) je za davanje dozvole za uporabu tražila da sustav bude siguran od hakera i da zaštiti povjerljive podatke zdravstvenog stanja pacijenata [15]. Nakon što je i to osigurano dala je zeleno svjetlo za uporabu primjenu robota RP-VITA u Americi [16].

TelePresence robot može sudjelovati i kod pregleda unesrećenog pacijenta i donošenju dijagnoze, slika 14 [17].



**Slika 13** Preko TelePresence robota „Roda“ specijalista provjerava rad pluća [16]

**Figure 13** A specialist checks the lungs by means of TelePresence robot „Roda“ [16]



**Slika 14** Korištenje TelePresence robota za donošenje dijagnoze [17]

**Figure 14** Usage of TelePresence robot for diagnosing [17]

## 2.1.2 Rehabilitacijski roboti

### 2.1.2 Rehabilitation robots

Ovi roboti i mehatronički sustavi namijenjeni su za kliničku terapiju kod neuro-motorne rehabilitacije, treninga i sl. Uglavnom se nalaze u bolnicama i rehabilitacijskim centrima. Za rehabilitaciju gornjih

udova postoji veliki broj robotiziranih naprava, od onih za šake, podlaktice ili cijele ruke. Jedna od njih je prikazana na slici 15 [3]. Svakodnevno se plasiraju novi učinkovitiji uređaji s povoljnijom cijenom.



**Slika 15** Robotizirani uređaj za rehabilitaciju pokretanja ruke [3]

**Figure 15** Robotized device for rehabilitation of the arm motion [3]

Nekoliko Toyotih uređaja namijenjen je medicini za rehabilitaciju pacijenta s povrijeđenom nogom. To su dva tipa robota Wolk Training Asist (rehabilitacija hoda) te drugi Balance Training Asist (rehabilitacija ravnoteže), slika 16. Servo motori pomažu preuzimanju dijela tereta kako pacijent ne bi trpio previše boli. Vježbe su ukomponirane u video igru da bi se pacijent motivirao za program rehabilitacije [18].



**Slika 16** Toyotin uređaj Balance Training Asist [18]

**Figure 16** Toyota's device Balance Training Assist [18]

## 2.2 Kirurški roboti

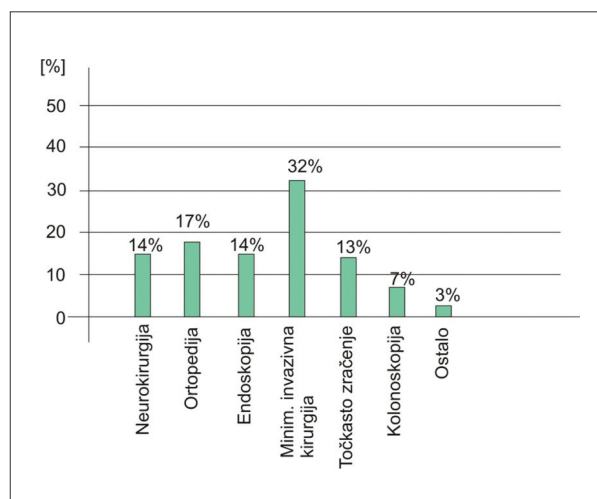
### 2.2 Surgical robots

Sve više se iskazuje potreba za kirurškim robotima, s tim da je početni naglasak bio na



minimalno invazivnim operacijama pomoću robota. Dostignućem tehnike i povećanjem točnosti postupaka, pouzdanosti rada kirurških robota smanjile su se komplikacije kod operacijskih zahvata [19]. Kirurška robotika je najfascinantnije interdisciplinarno područje medicinskog inženjerstva. Prije svega primjena robota u kirurgiji je usmjerena na nekoliko područja: minimalno invazivnu kirurgiju u području abdomena, urologiju, ginekologiju, ali i u području transplantacije organa, oftalmologiju i na kraju neurokirurgiju. Razvijaju se i roboti za stomatologiju. Biti će opisani samo neki od njih koji su u primjeni ili imaju poseban značaj za ovo razmatranje.

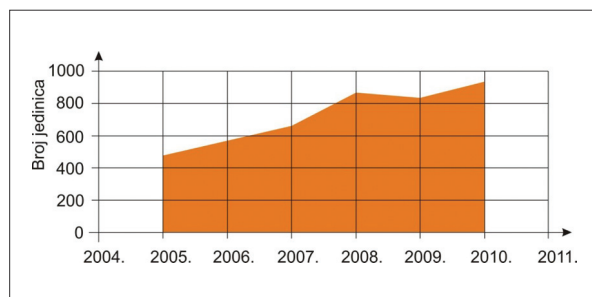
Primjena robota zbog različitih, najčešće tehničkih, razloga nije ravnomjerna. Na primjenu ima utjecaj i stav liječnika u kojemu dominira subjektivni osjećaj liječnika o direktnoj interakciji kod operacijskih zahvata s robotom. Na slici 17 je prikazano učešće robotike u pojedinim područjima medicine, a na slici 18 rast primjene robota u medicini temeljem podataka UNECE (Ekonomске komisije pri UN-u za Europu) i IFR (International Federation of Robotics) [2].



**Slika 17** Postotak primjene medicinskih robota u raznim područjima medicine (nacrtano prema podacima [2])

**Figure 17** Percentage of medical applications of robots in various fields of medicine (according to [2])

Svim robotskim kirurškim zahvatima prethodi CT (Computed tomography) ili MR odnosno MRI (Magnetic resonance imaging) slika koja je polazište određivanja prostornih koordinata i



**Slika 18** Godišnji trend rasta primjene robota u medicini do 2010. godine [2]

**Figure 18** Annual growth of robot applications in medicine by 2010 [2]

plana operacije, odnosno programskih instrukcija upravljačkom sustavu robota. Strojarski gledano najjednostavnije je krenuti s primjenom robota kod onih medicinskih zahvata gdje je objekt operacije čvrst, fiksni, gdje slika CT daje točan položaj i oblik koji se ne mijenja. Zato je logičan pristup primjene prije svega u ortopediji, ali i u neurokirurgiji. Za druge operacije kada je u igri meko tkivo koje mijenja položaj, podatno je, rješenja su usmjerena na stalni vizualni nadzor unutar tijela i kretanje kirurških instrumenata vođena voljom kirurga prema trenutno dobivenoj slici (najčešće 3D). Tehnika je laparaskopska, a najznačajniji predstavnik takvog teleoperacijskog robota je “da Vinci”.

Primjena robota u kirurgiji naziva se robotskom kirurgijom ili računalno-asistiranom kirurgijom. Njihovo uključivanje u kirurške zahvate moguće je na različite načine i s različitim stupnjem samostalnosti [20].

Treba naglasiti da se funkcionalnost kirurških robota oslanja na učinkovitost vizualnih instrumenata, namijenjenih prepoznavanju ne samo objekata već i početne pozicije koju robotski koordinatni sustav povezuje s koordinatnim sustavom dobivenim od CT ili MR slike pacijenta. Također treba uzeti u obzir da je nemoguće programiranje unaprijed.

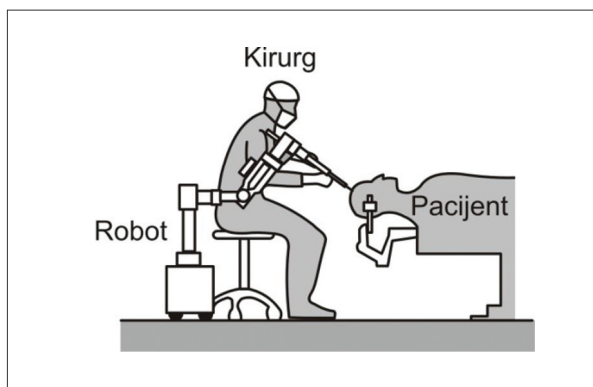
Postoji početni skepticizam i liječnika i pacijenata kod primjene kirurških robota ali prednosti koje nudi primjena robota je značajna. Razvojem inteligentnih upravljačkih softvera kao i senzorskih sustava robot može zamijeniti liječnika u dijelu njegovih funkcija i biti u toj zamjeni znatno “učinkovitiji”, doprinoseći kvaliteti zahvata, smanjenu traumatičnih

posljedica za pacijenta i ubrzanju njegovog oporavka [20].

Takvi sustavi traže visoku pouzdanost i točnost, mogućnost jednostavne sterilizacije, kompatibilnost s postojećom kirurškom opremom, pouzdano upravljanje i intuitivno programiranje, uvođenje haptičkih svojstava (osjećaj dodira), razvoj novih kirurških alata, autonomnost i niz drugih [3]. Zadovoljavanje tako složenih zahtjeva uzrokuje i vrlo visoke cijene tako da je i to ograničavajući faktor šire primjene.

Kirurški roboti u medicini su se razvili u više različitih smjerova zbog različitih pristupa tehničkoj realizaciji kirurških robota, koji su prije svega posljedica namjene ali i postupnosti primjene. Načelno gledajući postoje tri načina rada [20]:

1. Nesamostalni rad nazvan je “asistentskim”. Sam operativni zahvat obavlja kirurg kao na slici 19. Robot asistent pomaže kirurgu da ostvari precizniji i točniji rad te izbjegne tremor ruke (fina pomaci ili umor). Primjer za takav način rada u neurokirurgiji su biopsije, postavljanje elektroda za DBA (Duboka mozgovna stimulacija), katetera, bušenja kosti i sl.

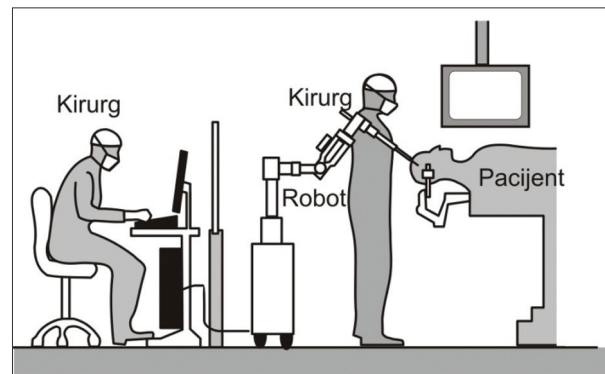


**Slika 19** Robot asistent kirurgu

**Figure 19** Robot as an assistant surgeon

2. Autonomni rad robota, podrazumijeva samostalno obavljanje operacije, ili dio (neki zahvat) bez direktnog sudjelovanja kirurga (slika 20). Za taj način rada su uglavnom svi tehnički problemi već riješeni, ali ipak nisu našli širu primjenu prije svega iz etičkih razloga.

Moguć je i “uvjetno” autonomni rad robota. Robot sa svojom hvataljkom u ruci drži kirurški instrument i mogao bi samostalno krenuti u

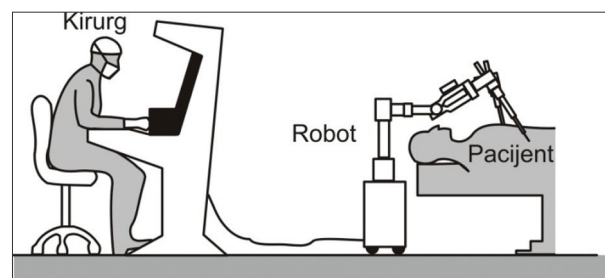


**Slika 20** Autonomni rad robota

**Figure 20** Autonomous work of robots

pravcu kamo mu je određena putanja kretanja, ali taj dio pogona je isključen. Ruku robota gura kirurg (male su sile - prilagodljivi roboti) i može zaustaviti kretanje u svakom trenutku, ali mu robot određuje prostorni pravac i dubinu zahvata. Taj način rada je najprihvatljiviji kao među korak između rada kao asistenta i potpuno autonomnog rada i kirurzi ga prihvaćaju radi sigurnosti i osjećaja vlastitog nadzora nad operacijom.

3. Način rada s robotima koji su teleoperacijski uređaji ili uređaji s daljinskim upravljanjem, slika 21. Kirurg pokretima svojih ruku, odnosno prstiju upravlja “rukama” robota s laparaskopskim instrumentima gledajući na ekranu znatno uvećanu 3D sliku. Da bi operirao kirurg ne mora



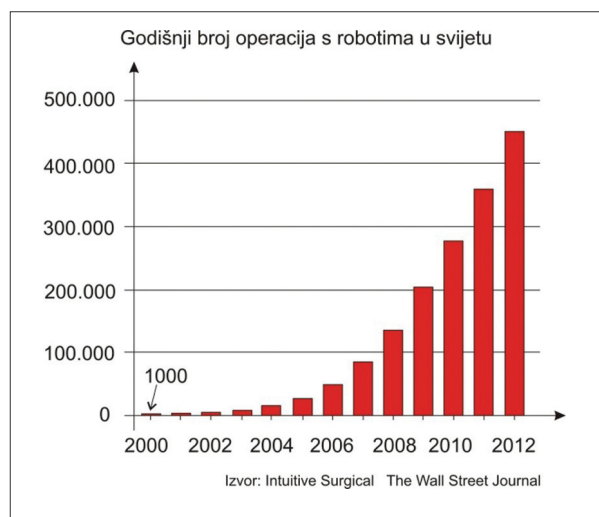
**Slika 21** Načelni rad teleoperacijskim uređajem kod laparaskopskog operativnog zahvata

**Figure 21** The principle of work with remote surgery device at laparoscopic surgery

biti u operacijskoj sali iako u pravilu jeste [20].

Hrvatski neurokirurški robot “Ronna”, može raditi na tri načina. Prvi (asistentski) da precizno prostorno definira instrument kirurga, odnosno zamjenjuje postojeći sustav stereotaktičkog okvira koji se fiksira na glavu pacijenta (slika 27). Kirurg kroz usmjerenu vodilicu gura medicinske

instrumente (bušilicu za lubanju, iglu za biopsiju, kateter ili elektrode za DBS). Drugi način rada je korištenje i druge ruke robota koja prihvaća medicinski instrument po redosljedju i planu operacije, ali s njim ništa ne radi. Kirurg lagano gura ruku robota s instrumentom i on ide samo u smjeru i do dubine koje mu određuje robot. U svakom trenutku kirurg može zaustaviti kretanje ruke robota i vratiti je na početak. Kod trećeg načina rada kretanje druge ruke obavlja robot samostalno, ali njeno zaustavljanje ili pokretanje kirurg može jednostavno obaviti dodiranjem svoje ruke ruku robota. Ta postupnost mogućnosti rada robota presudna je kod primjene, jer se s vremenom stiče povjerenje u preciznost i pouzdanost rada robota.

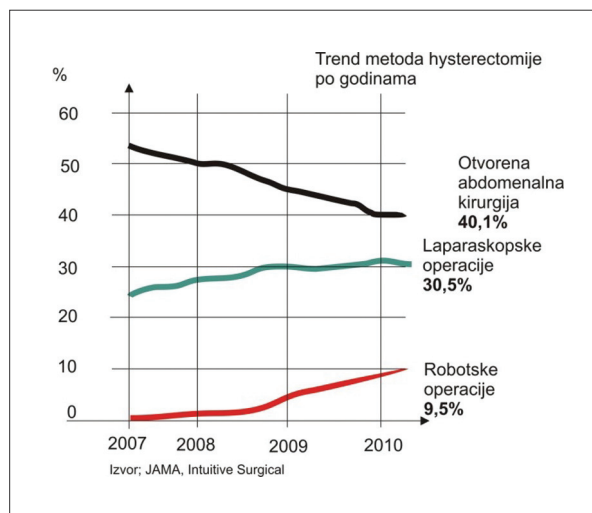


**Slika 22** Godišnji broj operacija robotima u svijetu [21]

**Figure 22** Annual number of operations in the world performed by robots [21]

Bez obzira na sve primjedbe primjena kirurških robota u bolnicama je sve veća što najbolje pokazuju podaci na slikama 22 i 23.

Nameće se još jedan zaključak da dolaskom robota u bolnicu, postoji sve veća nužnost edukacije liječnika o robotskoj tehnologiji (automatizaciji), ali i strojaru i elektroničaru o potrebama i poslovima liječnika. Taj trend interdisciplinarnosti prepoznao je Medicinski fakultet i Fakultet strojarstva i brodogradnje, te su započeli dogovori oko međufakultetske suradnje i kao prvi korak upoznavanja bila je organizirana tribina: Presjecišta medicine i strojarstva, koja je održana na Medicinskom fakultetu u Zagrebu, 2014. godine [3].



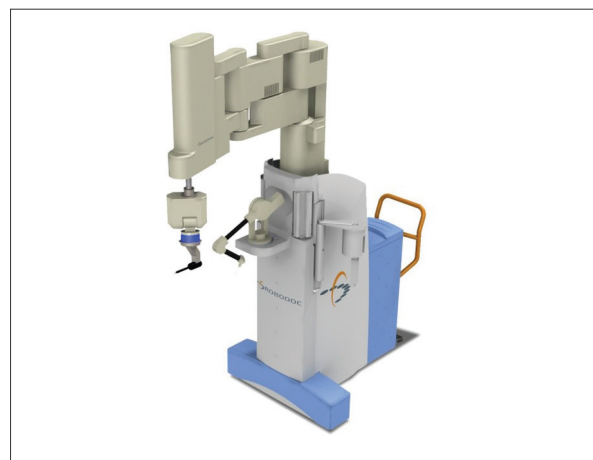
**Slika 23** Porast broja operacija robotima u ginekologiji (hysterectomije), doručeno prema [44]

**Figure 23** The increase in the number of operations performed by robots in gynecology (hysterectomije), according to [44]

## 2.2.1 Ortopedski roboti

### 2.2.1 Orthopedic robots

Ortopedija je prikladna za rad robota jer snimke kosti njihovog oblika i položaja, temeljem kojih se određuje plan operacija su čvrste i nepromijenjene. Za ortopediju razvijen je robot "RoboDoc" tvrtke CUREXO Technology Corporation, slika 24. Posebno je projektiran za postupke ugradnje endoproteza kuka [22] [23]. 2010. god. je izvedna prva ugradnja endoproteze kuka s robotom. Konstrukcija je izvedena po modelu SCARA robota.



**Slika 24** "RoboDoc" tvrtke CUREXO Technology Corporation [23]

**Figure 24** "RoboDoc" company CUREXO Technology Corporation [23]



Također ortopedski robot obavlja ugradnju endoproteza kao i zahvate postavljanjem tzv. pokrovne proteze kuka (hip resurfacing). To je noviji oblik endoproteze, koja zamjenjuje raniju alternativu ukupne zamjene kuka THR (Total hip replacement). Prednosti pokrovne proteze kuka su manje uklanjanje (očuvanje) kostiju, potencijalno manji poremećaji u funkciji kuka [24].

### 2.2.2 Roboti u minimalnoj invazivnoj kirurgiji

#### 2.2.2 *Robots in minimal invasive surgery*

Danas je u bolnicama u svijetu najprisutniji robot za minimalnu invazivnu kirurgiju robot "da Vinci". Ime je izabrano po genijalnom umjetniku i vizionaru Leonardu da Vinciju koji je izradio prvog robota s pokretnim rukama i glavom. To je teledirigirani robot, što znači da on nema svoje programe već se njegove ruke pomiču pomicanjem prstiju ruku ili noga liječnika na konzoli pred ekranom uvećane 3D slike unutrašnjosti mjesta operacije. Prototip je razvijen krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća kao težnja Američke vojske da sa udaljenog sigurnog mjesta teleoperacijskim sustavom obavljaju operacije na bojištu. Izvorna ideja o stvaranju takvog sustava datira još iz rata u Vijetnamu [25].

Tehnički gledano upravo laparaskopski pristup operativnim zahvatima bio je pravo rješenje za teleoperacijski sustav operacija korištenjem robota "da Vinci". Prototip je izrađen 1997., a već 1998. izvedena je s njim prva srčana prenosnica. Upotreba "da Vinci" odobrena je od FDA 2000. godine, a u Europi se primjenjuje od 2001. god.

Kako je već rečeno budući da se radi o teleoperacijskom sustavu, treba naglasiti da je on u potpunosti upravljani kirurgovim rukama i njegovom vještinom i obučenošću. Sustav ništa ne radi samostalno i nema nikakvu umjetnu inteligenciju. Iako se sustav "da Vinci" ne koristi za udaljene teleoperacijske zahvate on im sve elemente da to i ostvari, slika 25.

Sav upravljački dio sustava "da Vinci" se obavlja preko konzole upravljanjem od strane kirurga. Robot "da Vinci" ima četiri ruke sa 7 stupnjeva lobode, s kojima ostvarivanje kretanja laparaskopskih instrumenta. Zglobove pokreću



*Slika 25* Robotski sustav „da Vinci“ s dvije konzole (jedna je za učenje), četiri „ruke“ robota, te ekran sa slikom operacije [43]

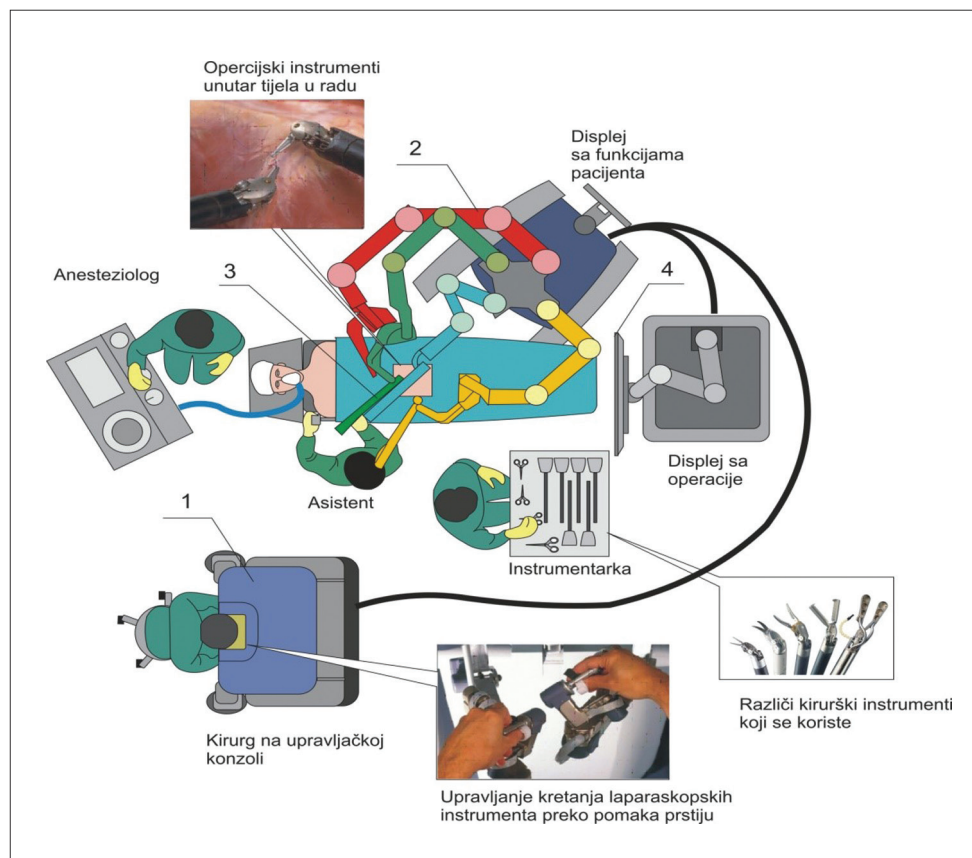
*Figure 25* The robotic system „da Vinci“ with two consoles (one is for learning), four „arms“ of robots, and with a screen presenting the operation [43]

elektromotori. Tri ruke nose laparaskopske endoskopske mikroustrumente poput škara, cijevi, skalpela, igala za šivanje i sl. Kirurg može rotirati instrumente kroz rezove za 360 stupnjeva. Četvrta ruka nosi stero-endoskop.

Iako se kirurški robot "da Vinci" značajnije koristi tek nešto više od desetak godina, uspješno se koristi u sljedećim postupcima: podvezivanje želuca kod pretelih ljudi, obavljanje i finih i sigurnih rezova kod otklanjanja tumora, uklanjanje ganglionia i sl., ginekološke, urološke, srčane i druge zahvate [27]. Također se primjenjuje i u torakalnoj kirurgiji jer je ostvaren ogromni napredak izvođenjem malih rezova, umjesto rezanje rebara ili pravljenje uzdužnih rezova. To je ogromna dobit za pacijenta koji su poslije operacije patili od jakih bolova, a ujedno je ostvaren i znatno brži oporavak. Počinje se koristiti i u području transplantaciju organa poput transplantacije bubrega, kao i srčanih prenosnica [27].

Možda su urološki zahvati najčešći, posebno kod radikalno uklanjanje prostate (prostatectomija). Rezovi su mali, smanjenja je opasnost oštećenja živca, koji može uzrokovati inkontinenciju i impotenciju. U ginekologiji robot "da Vinci" koristi se za odstranjivanje maternice (hysterectomiju) i uklanjanje mioma [28].

Za kvalitetan rad i iskorištavanje prednosti rada s robotom "da Vinci" nužno je stjecanje potrebnih vještina i omogućavanje većem broju kirurga postizavanje tih znanja. Training obuhvaća rad s konzolom i upoznavanje s funkcijom



**Slika 26**  
 Skica  
 teleoperacijskog  
 robota za  
 laparaskopske  
 operacije u  
 abdomenu, ili  
 određene vrste  
 transplantacija  
 (adaptirano prema  
 [42])

**Figure 26**  
 Sketch of a remote  
 controlled robot for  
 laparoscopic surgery  
 in the abdomen, or  
 for a certain type  
 of transplantation  
 (adapted from [42])

robotskih ruku. Za postizavanje vještine rada i izvođenje jednostavnih manevara s laparaskopskim instrumentima postoje posebno izvedeni modeli.

Cijena robotskog sustava “da Vinci” je velika i kreće se oko 1,5 do 2,5 miliona \$, a ovisi i o dodatnoj opremi. Tu nisu uzeti u obzir godišnji troškovi održavanja oko 150.000\$, rezervni instrumenti, baterije i sl. Usprkos toj visokoj cijeni već je do 2014. godine prodano u svijetu 3100 robota, a u SAD 2000.

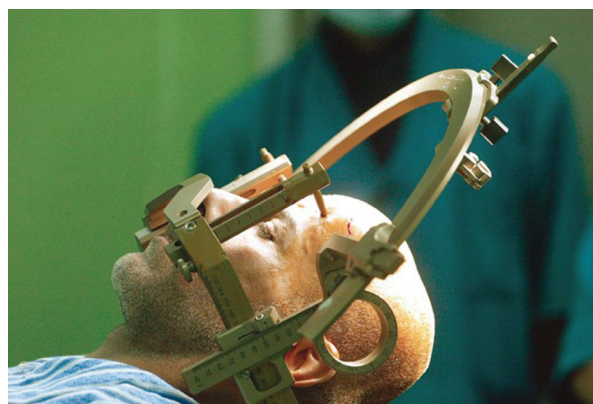
### 2.2.3 Neurokirurški roboti

#### 2.2.3 Neurosurgical robots

Neurokirurgija je posebno prikladna za primjenu robota, te u tom smislu postoji više razvijenih rješenja, ali se većina njih ne primjenjuje.

Kod neurokirurgije postojeći sustavi operacija temelje se na analizi CT ili MR slike, gdje se posebnim programom određuju koordinate ciljane točke. Pri tome se koriste tzv. stereotaktički okviri, koji služe da se nakon snimanja pomoću pomaka okvira dobiju prostorno usmjerena vodilica prema ciljanoj točki. Najviše je u uporabi “Leksellov okvir” (slika 27) koji je nastao 1948. godine u Švedskoj. Moderni stereotaktički okviri

su dovoljno precizni u sadašnjoj kliničkoj praksi i izrađeni su od titana radi mogućnosti snimanja i sa MR. Točnost očnog očitavanja iznosi 0,3mm i ograničavajući je faktor preciznosti postupka sa stereotaktičkim okvirom. Kako se očitavanje obavlja na nekoliko mjesta radi potrebnog pomaka greške se sumiraju i iznose oko 1.3mm. Točnost ovisi i o položaju glave, pomicanju mozga nakon otvaranja lubanje (istjecanje likvora) i drugih čimbenika [20].



**Slika 27** “Leksellov stereotaktički okvir” montiran na glavu pacijenta

**Figure 27** “Leksell's stereotactic frame” mounted on the head of the patient

Sušтина primjene robota u neurokirurgiji je izbjegavanje stereotaktičkih okvira, te dobivanje veće točnosti. Postoji nekoliko rješenja ali niti jedno nije doživjelo masovniju primjenu. Na tržištu su prisutni “NeuroMate”, razvijen u Francuskoj koji ima 5 stupnjeva slobode i namijenjen za širok raspon funkcionalnih neurokirurških postupaka npr. za duboku stimulaciju mozga (DBS) i stereotaktičku encefalografiju SEEG. “NeuroMate” (slika 28) koristi infracrvene senzore ili ultrazvuk kao metodu za hvatanje zajedničke točke potrebne za registraciju [20] [30] [31].



**Slika 28** Neurokirurški robot “NeuroMate” u laboratoriju [31]

**Figure 28** Neurosurgical robot “NeuroMate” in the laboratory [31]

Drugi robotski sustav najčešće primijenjen u neurokirurgiji je “ROSA” tvrtke Medtech, slika 29. Koristi napredne robotske funkcije, navigaciju i haptičku tehnologiju te napredne mogućnosti vizualizacije. Lokalizacija robotskog sustava “Rosa” se temelji na “markerless” registraciji. Sustav je dobio odobrenje za rad u Europi (CE), i od FDA za rad u Americi. Do sada je svega 19 neurokirurškog robota Rosa instalirano u bolnicama [20].

Postoji i niz drugih neurokirurških robota koji nemaju neku značajniju primjenu. Danas veliki broj ekipa radi na razvoju neurokirurških robota. Prigoda je da se istakne i značajan doprinos ekipe s FSB u Zagrebu u suradnji s Kliničkom bolnicom Dubrava (tim: prof B.Jerbić-voditelj, prof G.Nikolić i doc D.Chudy) koji su s mladim stručnjacima sa FSB i specijalizantima sa KBD izradili neurokirurški robot “RONNA” (RObotska



**Slika 29** Neurokirurški robotski sustav „ROSA“ [20]

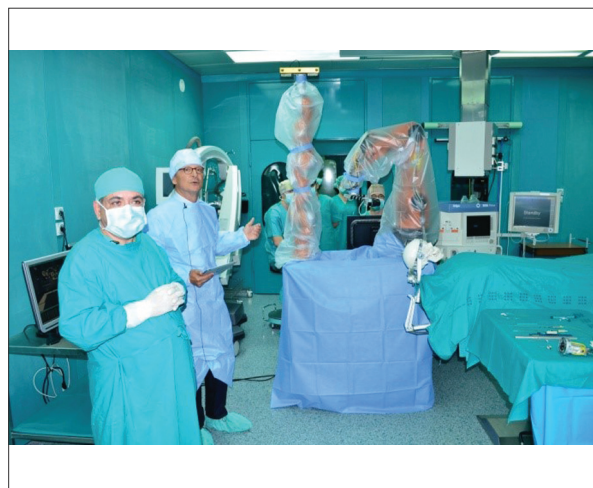
**Figure 29** Neurosurgical robotic system „ROSA“ [20]

Neuro NAvigacija), slika 30 [32] [33] [34] [35] [36]. Ideja je bila da postojeće komercijalne lagane prilagodljive robote LWR, ali relativno netočne, s odgovarajućom optikom tako softverski osposobiti da sami budu svjesni svoje netočnosti i navođenjem korigiraju netočnost. Postignuta je u laboratoriju točnost oko 0,6mm. Treba uzeti u obzir da je polazište, kao i kod drugih rješenja robota, snimke CT i MR, čiji je razmak među slikama 0,7mm, što znači da je točnost sustava “Ronna” veća od točnosti koju pruža polazišna slika. Za komparaciju točnosti dostupni podaci engleskog neurokirurškog robota “Pathfinder” govore da je njegova točnost 1,25mm [37]. “Ronna” prati zadani redoslijed operacije, jednostavnim dodirrom robota prepoznaje potrebu izmjene kirurških instrumenta, zaustavljanje u kretanju, sam se pozicionira i prenosi ishodišni koordinatni sustav temeljem markera. “Ronna” predstavlja novu aplikaciju robotike u neurokirurgiji koristeći nove metode lokalizacije temeljene na dvoručnoj konfiguraciji. Zamjenjuje uobičajene stereotaktičke metode, te eliminira ručno podešavanje uređaja i ljudske pogreške. Također, korišteni robot s dvije ruke (odnosno dva robota) čini sustav fleksibilnijim. Korištenje robota nije ograničeno samo na zamjenu primjene stereotaktičkih okvira već i za niz





a)



b)

**Slika 30** „Ronna“ u KB Dubrava, a) Ronna i dio razvojnog tima kod predkliničkog ispitivanja, b) demonstriranje rada Ministru zdravlja i Ministru znanosti obrazovanja i športa RH [39]

**Figure 30** „Ronna“ at KB Dubrava, a) Ronna and a part of the development team in pre-clinical testing, b) demonstration of the work for the Minister of Health and for the Minister of Science, Education and Sport [39]

drugih operativnih zahvata. Roboti (dvije ruke) surađuju jedan s drugim, tako da se neke naporne procedure koje teško može izvesti kirurg, mogu lako obaviti robotom asistentom, na jednostavan, brži i precizniji način. Nakon predoperativne faze, „Ronna“ sustav je sposoban za potpuno samostalno bušenje, ugradnju elektroda i umetanje katetera. Sustav ima potencijal za primjenu u stereotaktičkoj encefalografiji (SEEG), biopsiji, dubokoj moždanoj stimulaciji (DBS), resekciji tumora te liječenju neuralgije trigeminusa.

Nadalje, dvoručna robotska konfiguracija ima određene prednosti u odnosu na postojeće komercijalno dostupne sustave robota za neurokirurgiju. Način rada s dvije ruke osigurava veću stabilnost i krutost kinematičkih lanaca robota. Kinematička struktura dvoručnog robota u procesu rada, kao što je bušenje, umetanje elektroda i katetera ima samo jedan stupanj slobode, što osigurava bolju preciznost. Daljnja istraživanja i razvoj sustava donijeti će znatne prednosti u kliničkoj praksi, pojednostavljenje i poboljšanje postupaka za kirurga i time korist pacijenta [20] [32] [33] [38].

U „Ronna“ su integrirane kognitivne sposobnosti robota da prepozna namjere kirurga, predvidi redosljed operacije, prepozna okolinu i svoj prostor djelovanja. Pouzdanost, se ostvaruje na nekoliko načina, optičkim nadzorom, paralelnim odvijanjem dva nezavisna programa.

Robot „Ronna“ prošao je predkliničko ispitivanje i početkom ove godine obavljena je prva operacija. Prema izjavama liječnika na temelju predkliničkog ispitivanja i prvih operacija robot „Ronna“ skraćuje operativne zahvate, a predviđa se da će neke koje traju 5 ili više sati svesti na cca 1h. Sve to predstavlja manju traumu za pacijenta i omogućuje njegov brži oporavak. Ustanovljeno je da je robot vrlo osjetljiv i precizan kod bušenja kosti, daleko sigurniji od ručnog bušenja, precizan u dolasku na ciljano mjesto u mozgu i niz drugih prednosti (za detaljnije informacije o „Ronna“ preporuča se lit [20] [34] [35] [36] [38])

### 3. Minijturni medicinski roboti

#### 3.1. Miniature medical robots

Razmatranje o medicinskim robotima ne bi bilo kompletno da se ne prikažu i minijturni roboti koji se već koriste u kliničkoj praksi, kao i trendovi razvoja tih robota. Davna je bila želja da se izradi robot koji bi mogao biti u tijelu pacijenta i obavljao dijagnostiku, uzimao uzorke, ali također i po potrebi kirurški ili medikamentno intervenirao na oboljelom mjestu. Tako su razvijeni roboti za dijagnostiku probavnog trakta.

U Laboratoriju za nanorobotiku Sveučilišta Carnegie-Mellon izrađena je „tableta“ prikazana na slici 31 koja ima velike mogućnosti. Ima „ruke“ ili ticala s organskim ljepilom za hvatanje



**Slika 31** Tableta za dijagnostiku probavnog trakta

**Figure 31** A pill-sized capsule for diagnosing in the human gastrointestinal tract

za stjenke crijeva. Osim što snima kamerom stanje u probavnom traku, i odmah šalje sliku liječniku, može uzimati uzorke, laserom spaljivati (kauterizirati) rane koje krvare. Upravlja se izvan tijela. Može se zaustaviti i pokrenuti unazad da se vrati na mjesta koja treba dodatno pregledati.

Sličnih rješenja ima mnogo. Razvoj minijaturnih robota je usmjeren na liječenje unutar tijela, poput uništavanja bakterija, karcinomskih stanica, odstranjivanje masnih naslaga u krvnim žilama, kao i tromba, odstranjivanje kamenca u bubregu i niz sličnih. Za takve vrste poslove roboti moraju biti vrlo mali (mikronski), i mora ih biti mnogo. Niz problema nastaje kod tih rješenja poput energije, međusobne komunikacije,

prepoznavanje “objekta” i niz drugih do problema reakcije organizma. Na toj razini krenulo se u stvaranje bioničkih hibrida, ili robota nastalih genetskim inženjeringom, preprogramiranjem bioloških jedinki i sl. Problemi se nakon toga samo gomilaju [40] [41].

#### 4. Zaključak

#### 4. Conclusion

U tekstu se opisuju pravci razvoja tehnike u području medicinske robotike, koja je sada najperspektivnije područje primjene robota i u njega se najviše ulaže. Obzirom na složenost i izazove veliki broj timova znanstvenika u svijetu kao i kod nas rade na rješavanju tih problema. Oni će sigurno u skoroj budućnosti promijeniti mnoge paradigme u našem životu. Promijeniti će i odnose u društvu, vrste poslova, poboljšati naš život i zdravstvenu skrb. Ovo su samo natuknice koje naznačavanju te pravce.

Nove robotske primjene nalažu nova rješenja, jednako u pogledu konstrukcije, kao i metoda upravljanja, primjene novih materijala i senzora. Eksperimentira se kombinacijama organskih i anorganskih materijala u cilju stvaranja bioničkih robota s trendom “korištenja” robota izvedenog potpuno “od žive materije”, odnosno genetski modificiranih organizama koji obavljaju programirane funkcije. Stoga se poimanje robotike postupno mijenja u odnosu na uvriježene i postojeće definicije proizašle iz ranije namjene robota isključivo za industrijske svrhe.

## 5. Reference

### 5. References

- [1] Nikolić G., Katalinić B., Rogale D., Jerbić B., Čubrić G.: Roboti & primjena u tekstilnoj i odjevnoj industriji, Sveučilišni udžbenik, Zrinski-TTF-Čakovec 2008. ISBN 978-953-7105-22-8
- [2] Karabegović I., Karabegović E., Husak E.: Primjena servisnih robota u rehabilitaciji i pomoći bolesnicima, časopis Medicina fluminensis 2013, Vol. 49, No. 2, strana 167-174
- [3] Jerbić B.: Robotika u medicini, izazov 21. stoljeća, prezentacija u PP na Tribini: Presjecišta medicine i strojarstva, Zagreb, 2014.
- [4] Nikolić G.: Šok budućnosti, časopis Open InfoTrend 197/11/2014, stranice 38- 47.
- [5] Fuziunea om-mašină: proteze implantate direct pe os, dostupno na <http://www.descopera.ro/dnews/10363306-fuziunea-om-masina-proteze-implantate-direct-pe-os-video>, objavljeno 12.03.2012.
- [6] Hruškovec I.: On je prvi koji mislima upravlja s dvije proteze u isto vrijeme, dostupno na <http://www.24sata.hr/lg/article/tech/on-je-prvi-koji-mislama-upravlja-s-dvije-proteze-u-isto-vrijeme-399019>, objavljeno u 24 sata, 18.12.2014.

- [7] Robotska noga za rehabilitaciju, dostupno na <http://www.racunalniske-novice.com/novice/dogodki-in-obvestila/robotska-noga-za-rehabilitaciju.html?RSS56151a4c196d2ffddc9a77df384f5330>, objavljeno 27.02.2011.
- [8] Robot d'assistance musculaire "HAL", dostupno na [http://thinkandplay.blogspot.com/2011\\_05\\_01\\_archive.html](http://thinkandplay.blogspot.com/2011_05_01_archive.html), objavljeno 2014.
- [9] Robot, dostupno na <http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>, objavljeno 9. travnja 2015.
- [10] Ackerman E.: Toyota's Healthcare Robots Are Ready to Help You With Absolutely Everything, dostupno na <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/medical-robots/toyotas-healthcare-robots-are-ready-to-help-you-with-absolutely-everything>, objavljeno 04.11.2011.
- [11] Jau galima išigyti naujus medicininius robotus, dostupno na <http://robotika.lt/jau-galima-isigyti-naujus-medicininius-robotus/>, objavljeno 08.06.2013.
- [12] Ackerman E.: iRobot Partners With InTouch, Ava to Start Caring About Your Health, dostupno na <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/medical-robots/irobot-partners-with-intouch-ava-to-start-caring-about-your-health>, objavljen 21.07.2011.
- [13] Freebody M.: The Rise of the Service Robot, dostupno na <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=48563>, objavljeno u listopadu 2011.
- [14] Toyota je razvila prototip robota za pomoć u kućanstvu, dostupno na <http://www.autonet.hr/toyota-je-razvila-prototip-robota-za-pomoc-u-kucanstvu>, objavljeno 25. rujna 2012
- [15] Dorrier J.: Telepresence Robots Invade Hospitals – "Doctors Can Be Anywhere, Anytime" dostupno na <http://singularityhub.com/2012/12/04/telepresence-robots-invade-hospitals-doctors-can-be-anywhere-anytime/>, objavljeno 04.12.2012.
- [16] Halverson N.: The Robot Doctor Will See You Now, dostupno na <http://news.discovery.com/tech/robotics/robot-doctor-will-see-you-130125.htm>, dostupno 25.01.2013.
- [17] Medicinski roboti, dostupno na <http://labintsis.com/?s=medicinski+roboti>, objavljeno 11.07.2010.
- [18] Prohodajte uz pomoć Toyotinih robota!, dostupno na <http://www.srbijadanas.com/clanak/prohodajte-uz-pomoc-toyota-inih-robota-video-23-12-2014>, objavljeno 23.12.2014.
- [19] Medical Robots Market by Type (Surgical Robot, Rehabilitation Robotics, Telemedicine, Assistive Robots, Orthotics, Prosthetics, Radio Surgery, Exoskeleton) & Application (Orthopedic, Neurology, Laparoscopy)- Global Forecasts to 2018, dostupno na <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/medical-robotic-systems-market-2916860.html>, objavljeno ožujak 2014.
- [20] Nikolic, G., Jerbic, B., and Chudy, D.: Robotic Applications in Surgery with Special Emphasis on Applications in Neurosurgery, Chapter XI. in Industrial Engineering – Challenges for the Future, pp. 215-236, D. Zelenovic & B. Katalinic (Editors), published by Faculty of Technical Sciences (Novi Sad, Serbia) 2014., DAAAM International (Vienna, Austria) and Fraunhofer IAO (Stuttgart, Germany), ISBN 978-3-902734-00-6
- [21] Pinkerton S.: The Pros and Cons of Robotic Surgery, dostupno na <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304655104579163430371597334>, objavljeno 17.11.2013.
- [22] Beasley R.A.: Medical Robots: Current Systems and Research Directions, dostupno na <http://www.hindawi.com/journals/jr/2012/401613/> objavljeno 06.07.2012.
- [23] RoboDoc 1.0 Surgical System, dostupno na <http://compassdesign.com/robodoc1/>
- [24] Robot THA, dostupno na [http://www.lct.co.kr/en/sub02/sub0201\\_3.php](http://www.lct.co.kr/en/sub02/sub0201_3.php), objavljeno 2014.
- [25] Worley J.: Remote-Control Surgery, Hi-Tech Robot Gives Surgeons a Hand, dostupno na <http://www.research.uky.edu/odyssey/spring05/surgery.html>, objavljeno 06.06.2005.
- [26] New technology saving lives: Robotics offer new level of surgical care, dostupno na [http://www.hickoryrecord.com/news/new-technology-saving-lives-robotics-offer-new-level-of-surgical/article\\_ff7ade94-8134-11e2-be25-0019bb30f31a.html](http://www.hickoryrecord.com/news/new-technology-saving-lives-robotics-offer-new-level-of-surgical/article_ff7ade94-8134-11e2-be25-0019bb30f31a.html), objavljeno 28.02.1013.



- [27] The da Vinci robot surgical system, dostupno na <http://www.allonrobots.com/da-vinci-robot.html>, objavljeno 2013.
- [28] Lilly J.: Robotics in Operating Room, dostupno na <http://www.progressiveengineer.com/PEWebBackissues2005/PEWeb%2064%20Jul%2005-2/Intuitive.htm>, objavljeno 2006.
- [29] Shubber K.: Peering under your skin: the future of surgical robotics is virtual, dostupno na <http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-06/11/robo-surgeons>, objavljeno 11.06.2013.
- [30] Zamorano L., Li Q., Jain S. & Kaur G.: Robotics in neurosurgery: state of the art and future technological challenges, The International Journal of Medical Robotics & Computer Assisted Surgery mrj40862.3d 21/4/2004.
- [31] Haidegger T. 2.: Theory and Method to Enhance Computer-Integrated Surgical Systems, [Internet], raspoloživo na [http://www.omikk.bme.hu/collections/phd/Villamosmernoki\\_es\\_Informatikai\\_Kar/2011/Haidegger\\_Tamas/tezis\\_eng.pdf](http://www.omikk.bme.hu/collections/phd/Villamosmernoki_es_Informatikai_Kar/2011/Haidegger_Tamas/tezis_eng.pdf), objavljeno 2010.
- [32] Jerbić B., Nikolić G., Chudy D.: Lokalizacijska pločica i set za njeno fiksiranje, HZIV 2012. Prijava patenta P20121063A
- [33] Nikolić G., Jerbić B., Chudy D.: Localization plate for stereotactic surgery, EU certifikat za dizajn EU DM/079990 22.12.2012.
- [34] Jerbić B.: Projekt Ronna, znanstveni izazov, intervju, časopis Majstor, br 11-12/2013., stranice 24-31.
- [35] Jerbić B.: A gdje smo mi u tome, časopis Open InfoTrend 193/10/2013, stranice 6-11.
- [36] Jerbić B., Nikolić G., Chudy D.: Robot-neurokirurg više nije san. Napravili smo robota kirurga, članak u obliku intervjua, časopis Vidi br 224/2014, strana 24-27
- [37] Eljamel M. S.: Robotic Applications in Neurosurgery, Medical Robotics, Book edited by Vanja Bozovic, ISBN 978-3-902613-18-9, pp.526, I-Tech Education and Publishing, Vienna 2008, Austria, str. 41 – 64.
- [38] Jerbic, B.; Nikolic, G.; Chudy, D.; Svaco, M. & Sekoranja, B.: Robotic Application in Neurosurgery Using Intelligent Visual and Haptic Interaction, International Journal of Simulation Modelling, Volume 14: Number 1: March 2015., ISSN 1726-4529, Technische Universität Wien
- [39] Jerbić B., Nikolić G., Chudy D.: RONNA, Robotska Neuro Navigacija, prezentacija PP u Kliničkoj bolnici Dubrava, Zagreb 2013.
- [40] Nikolić G.: Budućnost robota u području mikro i nano veličina, Znanstveno stručno savjetovanje „2.Kulturno nasljeđe Ujević“ Krivodol, Imotski , 28.09.2013., str 193-220
- [41] Nikolić G.: Mikro i nano roboti, PP predavanje na FSB, studeni 2014.
- [42] Robotic Surgery, dostupno na <http://www.surgery.usc.edu/uppergi-general/roboticsurgery.html>
- [43] Robotic Surgery-daVinci, dostupno na <http://www.acibadem.ly/robotic-surgery-davinci/>, objavljeno 2012.
- [44] Beck M.: Study Raises Doubts Over Robotic Surgery, dostupno na <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424127887323764804578314182573530720> objavljeno 19. 02. 2013.

## AUTOR · AUTHOR

**Gojko Nikolić** – nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 43 No. 2, 2015.

## Korespondencija

gojko.nikolic@ttf.hr