

ROBOTI V MEDICINI

► Primož Glavač



Medicina je veda, ki se ukvarja s preprečevanjem in zdravljenjem bolezni ter povrnitvijo zdravja ljudem. Zdravniki si pri svojem delu pomagajo z različnimi metodami in pripomočki, med katerimi so zadnjih trideset let vse pogostejši tudi roboti.

DANES ROBOTE V MEDICINI S PRIDOM UPORABLJAJO pri določanju bolezni, kjer z odlično ponovljivostjo poskrbijo za objektivnost; v kirurgiji, kjer operaterjem z izredno natančnostjo omogočajo hitreje opraviti posege in zmanjšujejo nevarnost posegov; v rehabilitaciji, kjer bolnikom olajšajo in pospešijo okrevanje; v protezah in eksoskeletih, ki osebam z izgubljeno okončino udom ali funkcijo okončine povrnejo samostojnost in omogočijo ponovno opravljanje vsakodnevnih aktivnosti. V nadaljevanju je na kratko predstavljena uporaba robotike v različnih vejah medicine.

► ROBOTSKA KIRURGIJA

Robotska kirurgija je najbolj razvita, razširjena in znana veja robotike v medicini. Razvoj kirurških robotov izhaja iz želje po natančnejši, hitrejši in neinvazivni izvedbi kirurškega posega. Začetki razvoja segajo v devetdeseta leta prejšnjega stoletja, ko so industrijski robot Puma 560 z natančnostjo 0,05 mm tako predelali, da so ga lahko uporabili za ste-

reoskopsko biopsijo možganov. Leta 1992 je podjetje Integrated Surgical Systems razvilo kirurški robot ROBODOC za pomoč pri operacijah ter zamenjavi kolka in kolena. Kirurg s pomočjo slik računalniške tomografije pripravi načrt posega, ROBODOC pa nato izvrši operacijo. Klinične raziskave so pokazale, da je pri tem natančnejši od konvencionalnih metod. Čeprav je bilo z njim v Evropi doslej opravljenih že več tisoč posegov, ga v Ameriki in po svetu zaradi težav pri pridobivanju certifikata agencije FDA (angl. Food and drug administration) redno uporabljajo šele zadnjih pet let.

☞ Ko je češki pisatelj Karel Čapek leta 1921 v svoji dramski igri kot prvi uporabil besedo *robot*, se ni zavedal, kaj si bodo dobrih devet desetletij pozneje ljudje predstavljali pod njo. Danes vemo, da je robot sopomenka za avtomatizirano industrijo, pomoč pri najraznovrstnejših opravilih in ne nazadnje visoko tehnologijo, ki se uporablja tudi v medicini. Na sliki je soba za posege z naj sodobnejšim neinvazivnim sistemom CyberKnife za kirurško odstranjevanje tumorjev. (Vir: PRNewswire)

☞ Industrijski robot Puma 560, kakršnega so po predelavi uporabili pri prvi robotski operaciji. (Vir: Stanford)



⇒ Operacija kolena s pomočjo robotskega sistema ROBODOC (Vir: Koreaittimes)



Dobri dve desetletji po prvih poročilih o robotsko opravljenih kirurških posegih so ti danes razširjeni po vsem svetu. Kljub nenehnemu razvoju v medicini pa roboti za zdaj še ne operirajo sami, ampak opravljajo nalogo asistenta oz. kirurgovega robotskega podaljška, pri čemer kirurg vodi upravljalno enoto prek teleoperacijskega sistema, izvršna enota pa izvaja gibe in naloge. Pred-

nost teh sistemov je v natančnejšem izvajanju nalog, v manjši invazivnosti in hitrejšem izvajanju operacij. Danes je komercialno najuspešnejši teleoperacijski kirurški sistem dDa Vinci (ŽIT 2013/12, str. 44), ki ga uporabljajo pri različnih kirurških posegih v urologiji, abdominalni kirurgiji, kardiovaskularni in žilni kirurgiji ter ginekologiji. Sestavljen je iz upravljalne enote, ki je po navadi kar v istem prostoru kot bolnik, in izvršne enote, ki vsebuje štiri robotske roke, katerih premike kirurg izvaja prek upravljalne enote. Tri robotske roke so namenjene upravljanju orodij, kot so skalpel, škarje in igla, četrta pa drži endoskopsko kamero, ki vsebuje dve leči in vrača slikovno informacijo upravljalni enoti. Kirurg na visoko zmogljivih zaslonih upravljalne enote opazuje povečano stereoskopsko sliko, prek dveh nožnih stopalk ter dveh ročnih krmilnih palic pa upravlja izvršno enoto. Kirurški sistem DaVinci spremeni kirurgovo gibanje rok v izredno natančne gibe robotskih rok, ki so vstavljene v človeško telo prek majhnih vhodnih ran. Bolni-

⇒ Operacija ob uporabi kirurškega sistema dDa Vinci (Vir: Napaurology)



šnica Celje je leta 2010 kot prva na zahodnem Balkanu začela izvajati robotske operacije prostate prav s pomočjo opisanega sistema.

Obstajajo tudi sistemi, ki omogočajo popolnoma neinvazivne metode zdravljenja. CyberKnife je robotski sistem, ki s pomočjo radioterapije zdravi oz. uničuje tako benigne kot maligne tumorje. Sestavljajo ga linearni pospeševalnik delcev, ki ustvarja sevanje, robotska roka, ki omogoča prenos sevanja na točno določen del telesa iz vseh smeri, ter sistem za natančno zaznavanje mesta tumorja. Bolnik, ki ga nameravajo zdraviti s tem sistemom, mora najprej opraviti slikanje z računalniško tomografijo, ki zazna morebitne nepravilne tvorbe ali tumorje. Sistem CyberKnife med posegom zajema rentgenske slike in jih primerja s slikami računalniške tomografije. Poleg tega bolniku v bližini tumorja na kožo nalepijo markerje (infrardeče diode), ki kameram omogočajo zaznavanje premikov. Računalniški program nato na podlagi vseh informacij vodi robotsko roko tako, da rentgenski žarki obsevajo samo tumor. Zaradi natančne usmerjenosti žarkov takšen pristop omogoča zdravljenje z visoko energijskim rentgenskim sevanjem, kar se kaže v hitrejšem okrevanju bolnika po posegu. V večini primerov zadostuje že od pet do sedem terapij.

V zadnjih letih v robotsko-kirurškem svetu poteka prava mala revolucija, ki meji že na znanstveno fantastiko. Znanstveniki so ugotovili, da je ključ do uspeha v minimalno invazivnih metodah določanja in zdravljenja bolezni. Tako se razvija nova veja kirurških robotov, imenovana mikroroboti v medicini. Ker so veliki od nekaj centimetrov pa vse



↳ Upodobitev mikrorobota med posegom (Vir: ConeylJay)

do nekaj nanometrov, je njihova bistvena prednost pred makroroboti, da omogočajo dostop do mest v telesu, kamor s klasičnimi pristopi ne moremo, saj se znotraj telesa gibljejo po naravnih poteh (krvno-žilni in dihalni sistem, prebavni trakt). Uporabiti jih je mogoče za različne naloge, npr. za pregled prebavnega trakta, prostate in ledvic, za prenos zdravil na lokalno mesto v telesu (do tumorja oz. rakavih celic) ter biopsijo. Raziskovalci na inštitutu ETH v Zürichu so razvili sistem OctoMag za operacijo oči. Sestavljajo ga mikroroboti iz magnetnih materialov in sistem natančnih magnetov, ki omogočajo premikanje magnetnih delcev v prostoru z nanometrsko natančnostjo. Kljub svojim številnim dobrim lastnostim mikrorobote za zdaj uporabljajo samo v laboratorijih, v zdravljenje ljudi pa še niso vključeni.

► ROBOTI V REHABILITACIJI

Motorična rehabilitacija je po nekaterih poškodbah ali boleznih za okrevanje bolnikov življenjskega pomena. Ta proces se odraža v ponavljajoči se vadbi gibanja okončin. Zaradi raznolikih poškodb okončin in njihove rehabilitacije se morajo terapevti in zdravniki posvetiti vsakemu bolniku posebej, zato je celoten proces običajno dolgotrajen

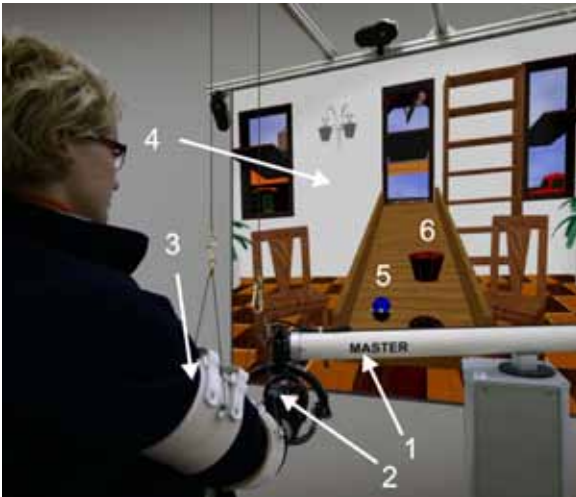


☛ Bolnik po možganski kapi se ob pomoči robota MIT-Manus uči premikati roko. (Vir: Topnews)

in drag. Alternativa klasični terapiji je vadba z namenskimi rehabilitacijskimi roboti, ki imajo številne prednosti: ne utrudijo se, objektivno zbirajo podatke o bolniku in njegovem napredku ter so sposobni opravljati nekatere vaje, ki jih terapevti ne zmorejo. Med pionirje rehabili-

tacijske robotike se uvršča inštitut MIT, kjer so razvili rehabilitacijskega robota MIT-Manus. Sistem z dvema prostostnima stopnjama, ki je namenjen razgibavanju rok, se zaradi svoje učinkovitosti zelo dobro prodaja.

Kot izredno uspešni rehabilitacijski sistemi so se izkazali tudi t. i. haptični roboti v povezavi z navideznim okoljem (ŽIT 2009/9, str. 40; ŽIT 2010/2, str. 12). Haptični roboti oz. haptični vmesniki so sistemi, ki omogočajo neposredno fizično interakcijo med človekom in robotom, ob tem pa obojestransko prenašajo informacije med njima. V letih 2008–2011 je potekal evropski projekt MIMICS, ki se je ukvarjal z robotsko rehabilitacijo v povezavi z naprednimi tehnologijami prikaza in zaznavanja. Pri projektu je sodelovala tudi Univerza v Ljubljani. Rehabilitacijski sistem MIMICS omogoča rehabilitacijo bolnika po možganski kapi z inovativnim pristopom na podlagi računalniških iger. Prek senzorjev zaznava psihofizično stanje bolnika in mu glede na zbrane podatke določa težavnost nalog. Pri vadbi bolniku pomaga haptični robot. Naloge so prikazane kot igre na velikem zaslonu, ki posredujejo tudi zvočne informacije. Bolniki tako pozabijo, da gre za rehabilitacijo, kar se kaže v večji uspešnosti in boljšem počutju.



☛ Rehabilitacija s pomočjo virtualne resničnosti: prva puščica na sliki kaže haptičnega robota, druga in tretja prijemalo ter nosilec za premagovanje teže roke, četrta virtualno okolje ter peta in šesta puščica vedro, v katero mora bolnica odložiti žogo. (Vir: arhiv FE)

ROBOTSKE PROTEZE IN EKSOSKELETI

Izguba uda je vedno bila in vedno bo težka preizkušnja za človeka. V preteklosti so izgubljeni ud nadomestili s približki, izdelanimi iz lesa, kovin in usnja. Z razvojem medicine so se razvijale tudi proteze, od sprva le-

senih prek preprostih kovinskih pa vse do današnjih robotskih protez, ki so sposobne povezave z živčnim sistemom. Robotska proteza z opravljanjem vsakodnevnih aktivnosti omogoča uporabniku spet postati samostojen in samozavestnejši. Najpogostejše so robotske proteze rok in nog (ŽIT 2008/3, str. 54; ŽIT 2012/2, str. 30), ki so navadno sestavljene iz plastičnih, ogljikovih in kovinskih materialov, pogonov, sklepov, mehanskih tetiv ter različnih senzorjev za zaznavo položaja, sil in pospeškov. Na preostali del uda je pritrjena prek podnožja, ki ga v bolnikovo telo vstavi kirurg. Proteza lahko vsebuje senzorje, ki merijo mišično aktivnost v preostalem delu uda in s tem omogočajo premikanje sklepov proteze (koleno, gleženj, komolec, dlan, prsti).

Eksoskelet je nosljiva struktura oz. robot, ki se kar najbolj prilaga uporabniku tako po obliki kot tudi po kinematičnih lastnostih. Glavni namen eksoskeleta je zagotavljanje opore uporabniku. Del obremenitve zaradi teže tovora ali lastne teže telesa prevzame mehanizem, zaradi česar je uporabnik razbremenjen. Ogrodje eksoskeleta je sestavljeno iz segmentov in sklepov, ki se morajo prilagajati uporabniku. Narejeni so iz titanovih zlitin in kompozitnih materialov, ki imajo visoko specifično trdnost (razmerje trdnost : masa). Ogrodje vsebuje senzorje za detekcijo uporabnikove hotene aktivnosti ter za zaznavo okolja in prostorsko pomembnih informacij. Eksoskelet potrebuje za delovanje tudi baterijo in procesno enoto.

Tehnološki napredek že od nekdaj kroji vojaška industrija. To velja tudi pri eksoskeletih. Ko mobilne vojaške enote odpovedo, se morajo



☞ Bionična proteza roke (Vir: Bebionic)

vojaki znajti sami. S seboj tvorijo tudi do 60 kg opreme, pri tem pa si lahko pomagajo z za zdaj najbolj izpopolnjenim hidravličnim antropomorfnim eksoskeletom, imenovanim HULC. Ta uporabniku omogoča veliko gibljivost (hojo, tek, počepanje, plazenje, vzpenjanje in sestopanje) ter sposobnost prenašanja bremen do 90 kg. Baterija zadostuje za največ 72 ur delovanja, ogrodje sámo pa je zgrajeno tako, da zagotavlja oporo tudi ob popolni izpraznitvi baterij.

Na podlagi dolgoletnih raziskav in preizkušanj sistema HULC so razvili eksoskelet eLEGS, ki paraliziranim ljudem omogoča hojo. Sestavljen je iz električnih motorjev v kolčnem in kolenskem delu. Prizadeta oseba si ga zaradi dokaj preprostega mehanizma lahko kar sama pripravi in nadene. Med hojo si pomaga z berglami, ki vsebujejo senzorje gibanja. Ti pošiljajo podatke v glavni krmilnik in s tem omogočijo izračun železne smeri gibanja. Eksoskelet omogoča izvedbo t. i. recipročnega koraka (korak, ko sta v ospredju nasprotna uda, npr. leva roka in desna noga), zaradi negibljivega sklepa v gležnju pa si lahko z njim za zdaj pomaga le pri hoji po ravnih površinah.

MEDICINSKI ROBOTI V PRIHODNOSTI

Zaradi velikega zanimanja javnosti in strokovnjakov ter velikih potreb

⇒ Eksoskelet eLEGS paraplegikom omogoča naredi prve korake. (Vir: Eksobionics)



zaradi staranja prebivalstva je robotika v medicini ena izmed najhitreje napredujočih panog. V bližnji prihodnosti si bodo znanstveniki prizadevali še izboljšati sedanje algoritme in rešitve. Razvoj bo potekal predvsem na področju mikro- in nanorobotov, neinvazivnih metod operacij in boljše implementacije bioničnih

protez. Ob tem pa se marsikdo sprašuje, koliko časa še imamo, preden bo glavno besedo prevzel robot.

VIRI IN LITERATURA

- R. H. Taylor: A Perspective on Medical Robotics; Proc. IEEE, vol. 94, no. 9, str. 1652-1664, sept. 2006.
- A. M. Okamura, M. J. Mataric in H. I. Christensen: Medical and Health-Care Robotics; IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 17, no. 3, str. 26-37; sept. 2010.
- S. Čresnar: Konstruiranje ekso-skeleta; Maribor, 2013.
- M. Mihelj: Haptični roboti; Založba FE in FRI, 2007.

SPLETNI NASLOVI

- <http://www.davincisurgery.com/>
spletna stran sistema dDa Vinci
- <http://www.cyberknife.com/>
spletna stran sistema CyberKnife
- <http://www.ir-rs.si/>
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS – Soča
- <http://www.mimics.ethz.ch/>
evropski projekt MIMICS
- <http://www.cyberlegs.eu/>
bionične proteze CyberLegs

Dnevi industrijske robotike DIR2014 bodo letos potekali od 31. marca do 4. aprila na ljubljanski Fakulteti za elektrotehniko. Že osmo leto zapored jih pripravljajo študentje pod mentorstvom profesorjev Laboratorija za robotiko in v sodelovanju s slovenskimi podjetji.



Osrednji del dogodka so predstavitve robotskih celic. Študentje so odgovorni za celotni razvoj aplikacij – od idej, ki so velikokrat bolj zabavne od narave, pa do iskanja inženirskih rešitev. Rezultat so edinstvene aplikacije, ki jih ni mogoče najti v industrijskih okoljih. Tako so za letos pripravili robota, ki bo pekel vafle, robota, ki bo igral namizni hokej, pa mobilnega robota, ki se bo skušal kar se da hitro rešiti iz labirinta, ter še nekaj drugih. Obljubljajo tudi zanimiv spremljevalni program v obliki predavanj in ekskurzije.

Prireditev je odprta za širšo javnost, nekateri deli pa zahtevajo prijavo.

Vse informacije najdete na spletni strani www.dnevirobotike.si.

OGLAS