

A jövő medicinája

A technológia szerepe

a minimálisan invazív sebészetben: a téma jelenlegi állása, a mai fejlesztések és a jövő felé mutató irányzatok (The role of technology in minimally invasive surgery: state of the art, recent developments and future directions) Tonutti M, Elson DS, Yang GZ, et al. (levelező szerző: Soderger, M., Department of Surgery and Cancer, The Hamlyn Centre for Robotic Surgery, Institute of Global Health Innovation, Imperial College London, 3rd Floor Paterson Centre, South Wharf Road, Paddington, London W2 1PF, Egyesült Királyság; e-mail: m.soderger@imperial.ac.uk): *Postgrad Med J.* 2017; 93: 159–167.

Ez az áttekintő cikk a minimálisan invazív sebészettel kapcsolatos technológiákat tárgyalja, különösen az orvosi képzést, a sebészeti eszközök, a kamerák és a robotika jelenlegi fejlettségét. Ezen technológiák hiányosságait ismerve a szerzők javaslatokat tesznek a jövőbeli fejlesztéseket illetően is.

A minimálisan invazív sebészet (MIS) néhány évtizedes története során nagy technológiai fejlődésen ment át és napjainkra világszerte elterjedt. Statisztikák szerint 2015-ben 7,5 millió laparoszkópos műtétet végeztek. A sebészeti paradigma ezen eltolódásának fő oka, hogy a *beteget illetően* a MIS csökkenti a testet érintő sebészeti traumát, csökkenti a műtét komplikációkat, csekélyebb fájdalommal járnak a műtétek, gyorsabb a beteg felépülése, rövidebb a kórházban töltött idő, minimális a kozmetikailag zavaró heg, csökken a páciensek pszichés igénybevétele és összességében javul az életminőség. *A műtétet végző sebészt illetően* azonban a MIS-nek számos hátránya van. Ezek közé tartozik, hogy kicsi a műtét látótér, nincs sztereolátás (3D-s és mélységi látás), romlik a kéz-szem koordináció, hosszabb ideig kell ezeket a műtéteket tanulni, gyakorolni, és a MIS többbe kerül, mint a nyitott műtét. Az orvosi és sebészeti technológia jelenlegi fejlesztései azonban segítenek ezen problémák áthidalásában.

Kamerák és látás

MIS végzése során fontos a műtét terület jó megvilágítása. Az erről nyert képnek színesnek és nagy felbontásúnak kell lennie. A XX. század második felében üvegszálaloptikán alapuló flexibilis „szkópok” épültek

be az orvosi eszköztárba. Ezek modern változataiban a fényforrás xenonlámpa vagy LED. A mai modern „szkópokban” a képet nagy felbontású töltésvisszacsatolt eszközök (CCD-kamerák) továbbítják analóg-digitális átalakítón keresztül a lapos képernyőre. A mai modern laparoszkópok használatakor az operatőrnek nem kell a binokuláris lencsébe nézni, hanem egy képernyőn szemlélheti ténykedését. Mindez csökkenti a műtét stresszt. A laparoszkópos műtét menetét a teljes műtét csapat nézheti a képernyőn, ami javítja a kommunikációt közöttük.

A MIS egyik fő problémája, hogy a műtét során nincs sztereolátás (3D-s látás és mélységérzet). Ennek következménye lehet a sebészeti eszközök téves mozgatása. Számos cég dolgozott ki ezért olyan laparoszkópot, amelyben kellő számú csatorna áll rendelkezésre a sztereolátás biztosítására, és az így nyert kép 3D-s képernyőn való megjelenítésére. Így például a japán *Olympus* cég *VISERA* nevű sztereo-videoszkópjának vége négy irányban, 100 fokkal hajlítható, és 4K minőségű 3D-s képet továbbít.

Sebészi eszközök

Nagy kihívást jelent olyan sebészi eszközök tervezése és elkészítése, amelyek beilleszthetők a műtét során használt trokárba vagy endoszkópba, és amelyekkel egy szűk területen műtétet lehet végrehajtani. Több világcég készít azonban ilyen eszközöket. Egy további lehetőség az energia továbbítása MIS során. Az energiával lehet szövetet leválasztani, ereket zárni és sebeket kauterizálni. Az energiatovábbító lehet egyszerű, hőt vezető elektróda, elektromos energiát mechanikus, nagy sebességgel vibráló mozgássá alakító eszköz, rádiófrekvenciás ablatációs műszer és lézer. Ez utóbbi jól bevált például prostatectomia során. Ügyelni kell azonban arra, hogy a kis műtét terület ne égjen meg.

A MIS-nek egy külön ága a természetes testnyílásokon keresztül végzett műtét (*natural orifice transluminal endoscopic surgery – NOTES*), és a kép által vezetett „kulslyuksebészet” agydagánatok műtétjénél. A szokásos laparoszkópos műtét eszközökkel azonban nehéz NOTES-t végezni. Az endoszkópot is gyakran kell cserélni, ami tovább nyújtja az ilyen műtét időtartamát.

Robotika

Az előzőekben taglalt problémáknak egy jelentős része kiiktatható a robottal asszisztált műtétekkel. Ilyenkor a sebészeti eszközöket motorok és végesszközök mozgatják.

A robottal végzett műtétek a sebész számára könnyebbnek tűnnek, mivel kiiktatható a kézremegés, nő a kézügyesség és javul a szem-kéz koordináció. A sebészeti robotrendszerek közül a legjobban elterjedt és legsikeresebb a *da Vinci* (gyártja: Intuitive Surgical, Sunnyvale, California, Amerikai Egyesült Államok). Az elmúlt közel két évtizedben számos kórház és klinika szerzett be ilyen robotot világszerte, és velük a legkülönbözőbb műtéteket végzik. Ennél a „master-slave” robotnál a sebész („master”) egy konzolnál ül, 3D-s, sztereoképben nézi a műtét területet, és innen irányítja a „slave” egységet (négy robotkart és a kamerát). A robotkarokhoz speciális műszerek és ízületekkel ellátott végkészsülékek csatlakoztathatók. Felszerelhetők további aktuátorok, amelyekkel katéter és endoszkóp mozgatható.

A *da Vinci SP-vel* (single port) lehetséges egyetlen behatolási nyíláson keresztül műtéteket végezni. Használatkor egy 25 mm-es kanülön keresztül vezetnek be három, több ízülettel ellátott sebészi eszközt.

Speciálisan NOTES céljára is fejlesztettek ki robotot, mint amilyen az *i-Snake* (készítette: Imperial College, London, Egyesült Királyság). További fejlesztésük a *micro-IGES*, amellyel analízisben behatolva lehet mikrosebészeti műtéteket végezni. Ez utóbbihoz nagyon hasonló a *Flex Robotic System* (gyártója: Medrobotics, Raynham, Massachusetts, Amerikai Egyesült Államok), amelyet orális behatolással végzett NOTES céljára készítettek.

Haptika

Ez a fogalom olyan érzeteket foglal magába, mint az erő, a nyomás, a hőmérséklet és a textúra, amelyeket nehéz a robottal asszisztált műtéteket végző sebész számára tolmácsolni. A haptikus visszacsatolás ma még a kísérleti szakaszban van, és nincs jelen a kereskedelmi forgalomban lévő robotokban. A kézben tartott robotokban azonban már megjelent: vibráció, hallható hang vagy vizuális jel helyettesíti és tolmácsolja a haptikus érzetet.

Ember-robot együttműködés

A sebészeti robotok további, intenzíven kutatott területe a gépi tanulás algoritmusainak alkalmazása az ember-robot *kooperatív kontroll* létrehozásának céljából. Megvalósulása során a műtét legkritikusabb szakaszaiban gép segíti az operáló sebészt. Ennek révén lerövidül a robotsebészet elsajátításának időtartama, vagy ismétlődő készségeket igénylő beavatkozások sokkal precízebben végezhetők. Egy robotba beépíthető aktív gátlás is, ami azt

jelentí, hogy a robot csak egy pontosan definiált határon belül ténykedik; lehetséges műszerek hanggal való működtetése; autonóm szöveti szkenneléssel való idejű biopsziák végezhetők és diagnózis állítható fel; leoszthatók a sebész kezének kitérései.

Kihívások és korlátok

Annak ellenére, hogy a sebészeti robotok által nyújtott technika sok előnyt nyújt a sebész számára, mindezt még nem támasztják alá klinikai adatok. A robottechnológia egyébként nagyon drága: a da Vinci SP rendszer körülbelül 1,5 millió dollárba kerül, és egy robottal végzett műtét mintegy 5000 dollárba. Nehéz megítélni, hogy ilyen drága technológiát, amelynek klinikai hatása kérdéses, érdemes-e beszerezni. A robotsebészettel kapcsolatban számos etikai kérdés is felmerül. Például, ha rendszerhiba miatt sérül a beteg, akkor ezért ki a felelős? A jövőben tovább kell javítani a robotrendszerek biztonságosságát, és olcsóbbá, jobban hozzáférhetővé kell tenni ezt a technológiát. Az Amerikai Egyesült Államokban az illetékes hatóság (FDA) riportot tett közzé a robottal aszisztált sebészeti eszközökkel kapcsolatban, amelyben felhívják a figyelmet a következőkre: hiányos ezek központi regisztrációja, hiányosak a fejlettségi fokról szóló beszámolók, hiányosak a klinikai képességről szóló beszámolók, hiányosak a kezelésükkel kapcsolatos képzések, továbbá hiányos a gyártók és a klinikusok kapcsolata. Érdemes ezeken a kérdéseken elgondolkodni, mivel a robotok az eddigénél több sebész számára teszik lehetővé, hogy MIS-t végezzenek. Ahogy a MIS fejlődik és technikailag komplexebbé válik, úgy ebben a sebésznek asszisztáló robotoknak kulcsszerepük lesz. A robotok így hozzájárulnak a MIS elterjedéséhez és elismertségéhez.

Képalkotás

A röntgen (X ray) 1885-ös felfedezése és orvosi célú alkalmazásának felismerése óta a képalkotó technikák radikális fejlődésen mentek keresztül (például: MRI, CT, PET stb.). Mindebből a MIS sokat profitált, mivel olyan anatómiai részek váltak a sebész számára láthatóvá, amit szabad szemmel nem lehet észlelni – ráadásul egyre részletesebben és egyre nagyobb felbontásban. Az alábbiakban a képalkotás mai állapotának különféle alkalmazásai kerülnek ismertetésre.

Műtét tervezése és gyakorlása

A műtét előtti tervezés hatásos eszköz, ami segíti a sebészt a manuális ténykedésben és

a szellemi munkában (döntéshozatal). MIS esetében a pontos tervezés kulcsfontosságú. Műtét előtt elkészíthető egy adott terület (vagy akár a teljes test) 3D-s modellje a CT és MRI alapján, és ezen modellen elvégezhető a diagnosztika, a műtét tervezés és a műtét hatásának, kimenetelének megítélése. A tervezés során eldöntendő az is, hogy MIS végezhető-e, vagy inkább csak nyitott műtétre van lehetőség. Mindennek megítélésében nagy szerepe lehet a döntéstámogató rendszereknek (mesterséges intelligencia).

A műtét előtti terv volumetriás rekonstrukciója alapján kialakítható egy adott beteg *virtuális realitáson* alapuló modellje, amin a sebész gyakorolhatja a műtétet. Az ilyen jellegű szimuláció hatásos eszköze a sebészképzésnek is. A modellen, szimulátoron végzett gyakorlás nemcsak a manuális készségeket javítja, hanem fejlődnek az anatómiai variációkkal és a komplikációkkal kapcsolatos ismeretek, a professzionalizmus és a vezetői képességek, a csapatmunka, valamint az eszköz hibaforrásainak megismerése.

Kép által történő műtét vezetése

A komputertechnika mai fejlettsége lehetővé teszi, hogy a műtét navigáció a sebész rutin kulcsfontosságú része legyen. Így például éren belüli műtétek történnek CT-angiográfia alapján, és idegsebészeti műtétek MRI, CT és stereotaxiás keret kombinálásával. A napjainkban kifejlesztett *EasyGuide* rendszer az idegsebészt segíti, amennyiben követi a műtét eszközök helyzetét és azt rávetíti a műtét előtt beszkenelt képre. Van kép által vezetett minimálisan invazív sebészeti eljárás is, például a prosztatata onkológiai sebészetben. A C-karú röntgenkészüléket 1955-ben vezették be, amellyel napjainkban műtét közben röntgenfelvétel, vagy CT készíthető. Ennek alapvető szerepe van a gerincműtétek során, ahol a műtét eszközök helyzetének követése elengedhetetlen. A követés további módja optikai és az elektromágneses megoldás.

A műtét alatti vezetés egy további, korszerű módja a *megnövelt realitáson* (*augmented reality*) alapul. Ennek lényege, hogy egyesítik egy adott műtét területet való idejű videoképét a felszín alatti anatómia részleteivel. Ez különösen hasznos MIS esetében. A megnövelt realitású képet napjainkban átlátszó képernyőn vagy tableten jelenítik meg. Foglalkoznak ezen módszer automatizálásával is.

A kép által történő műtét alatti vezetés a MIS részévé vált, de problémás a légyszövetek regisztrációja és deformációinak mo-

dellezése. Ehhez mérnöki technikákat is alkalmaznak, amelyek azonban a komputerizációt illetően nagyon nagy igényt támasztanak és nem is mindig pontosak. Ebben a témában további eredményeket a komputerizáció fejlődése fog hozni. Van a fentiekkel kapcsolatban alternatív megoldás is: ultrahanggal lehetséges a műszerek helyzetének való időben történő követése az ultrahanggal beszkenelt képen.

Optikai képalkotás

A MIS-t végző sebészek gyakran diagnosztizálnak optikai úton nyert képek alapján. Ehhez a technológiához tartoznak a látható, az ultraibolya és az infravörös fényben előállított képek, amelyek alapján biokémiai vagy molekuláris információk is nyerhetők. A spektrumnak az a része nem okoz sugárkárosodást és a légyszövetek így jól elkülöníthetők. A *diffúz optikai tomográfia* például a röntgen alternatívája a mellrák diagnosztikája és műtétje során. A standard laparoszkópok is felszerelhetők olyan képalkotó rendszerekkel, amelyekkel detektálható fluoreszcencia, multispektrális szórt fény vagy a szöveti polarizációs tulajdonságok. Fluoreszcens fényben például gyorsan és pontosan elvégezhető a tüdő adenocarcinomájának osztályozása, vagy a húgyhólyagrak diagnózisának felállítása. A szövetek fluoreszcens tulajdonságán alapul a *konfokális endomikroszkópia*. Sok ígéretes eredményt hozott a 3D-s *optikai koherens tomográfia*. Ez egy szkennelési technika, amivel csupán fényt használva a szövetek mélyét lehet feltérképezni.

A fluoreszcenciaalapú technikák egy részénél fluoreszcens anyagot kell a páciensnek injekció formájában adni, ami ugyan kevésbé ártalmas, mint a röntgen, de mégsem kívánatos. További hátrány, hogy az optikai képeken redukált a mélység a fény elnyelése és szóródása miatt. A *multimodális képalkotás* különféle technikák előnyeit kombinálja egymással és különösen hasznos MIS esetében. Jelenleg kutatási téma olyan, robotokkal működtetett eszköz fejlesztése, amellyel multimodális fúziót lehet elérni.

A fenti áttekintés bemutatta, hogy a technológiai fejlesztések az elmúlt évtizedekben milyen szerepet játszottak a MIS fejlődésében és elterjedésében.

Dervaderics János dr.