

Tredimensjonal navigasjon i laparoskopisk kirurgi

Sammendrag

Bakgrunn. Ved åpen kirurgi får operatøren direkte og kontinuerlig informasjon, både visuelt og taktilt, under hele det kirurgiske inngrepet. Laparoskopisk kirurgi, derimot, gir begrenset eller mangelfull informasjon.

Materiale og metode. Vi har utviklet en tredimensjonal (3D) navigasjonsteknologi, basert på preoperative CT- eller MR-bilder, og en laparoskopisk peker. På den laparoskopiske pekeren er det festet en posisjonssensor slik at kirurgen, med pekeren, interaktivt kan kontrollere visningen av bilder (2D og 3D) underveis i det kirurgiske inngrepet.

Resultater. Vi har benyttet denne teknologien under behandling av fire pasienter med binyresvulster. Registreringen av de preoperative bildene ble utført på gjennomsnittlig to minutter, med en gjennomsnittsnøyaktighet på 7,1 mm. Vi benyttet todimensjonal og tredimensjonal visualisering, kontrollert av den laparoskopiske pekeren, både til planlegging (for plassering av trokarer) og til veiledning underveis i operasjonene.

Fortolkning. Den laparoskopiske pekeren var et nyttig redskap for veiledning og planlegging av de rapporterte inngrepene. Tredimensjonal bildeveiledet kirurgi med slik navigasjonsteknologi har et stort potensial for å forbedre laparoskopisk kirurgi og minimalt invasiv terapi. Spesielt kan dette være nyttig i tilfeller hvor blodårer og anatomiske strukturer kan være vanskelige å identifisere ut fra bildet som laparoskopet gir. Dermed kan denne teknologien øke sikkerheten og gjøre det enklere for kirurgen å utføre avanserte laparoskopiske inngrep.

Engelsk sammendrag finnes i artikkelen på www.tidsskriftet.no

Oppgitte interessekonflikter: Ingen

Ronald Mårvik

Nasjonalt senter for avansert laparoskopisk kirurgi
St. Olavs Hospital

Thomas Lango

thomas.lango@sintef.no

Geir Arne Tangen

Jan O.N. Andersen*

Jon H. Kaspersen

SINTEF Helse
7465 Trondheim

Brynjulf Ystgaard

Hans E. Fjøsne

Kirurgisk avdeling

Reidun Fougner

Radiologisk avdeling

St. Olavs Hospital

Toril A. Nagelhus Hernes

SINTEF Helse

* Nåværende adresse:

VoxelVision AS
7010 Trondheim

Bildestyrt kirurgi er en teknologi under utvikling. Ett av hovedmålene er å kunne utføre kirurgiske inngrep så skånsomt som mulig for pasienten, såkalt minimalt invasiv kirurgi. De fleste kommersielle systemer for bildestyrt kirurgi som er tilgjengelige i dag, er utviklet for nevrokirurgi (1, 2). Det finnes også systemer for andre kliniske områder, som f.eks. otologi (3) og leverkirurgi (4). I de mest avanserte systemene får kirurgen se todimensjonale (2D) og tredimensjonale (3D) kart over pasientens anatomi, som styres ved å følge posisjonen til kirurgiske instrumenter utstyrt med posisjonssensorer (2). Minimalt invasiv kirurgi utføres gjennom små hull, og gir redusert operativ stress, mindre postoperativ smerte og kortere liggetid for pasienten. Under slike inngrep har ikke kirurgen mulighet til direkte å se eller kjenne på organer. De som utfører laparoskopiske inngrep, har i dag som oftest kun et overflatebilde fra laparoskopet å støtte seg til under inngrepet. Kirurgen må danne seg en romlig forståelse av anatomen i bukhuken ut fra dette og den subjektive tolkingen av de preoperative CT- eller MR-bildene.

En mulig erstatning for disse problemene er teknologi som gir to- eller tredimensjonal bildeveiledning basert på preoperative bilder som MR eller CT. Dette korreleres med posisjon og orientering til ett eller flere kirurgiske verktøy (2, 5), som dermed gir kirurgen muligheten til å se under overflaten av organer. Vi har utviklet en teknologi som benytter preoperative bilder fra MR eller CT sammen med en

laparoskopisk navigasjonspeker med posisjonssensor på skaftet. Pekeren gir kirurgen oversikt i form av todimensjonale og/eller tredimensjonale bilder av anatomen relatert til det kirurgiske verktøyet. Dette gir bedre oversikt over anatomen under inngrepet, og forbedrer dermed veiledningen av operasjonen.

Metoder

Navigasjonssystemet (fig 1a) består av et posisjonssystem, en datamaskin og den laparoskopiske navigasjonspekeren med posisjonssensor festet bak på skaftet (fig 1b). Pekeren er 40 cm lang og 5 mm i diameter og er laget slik at den passer inn i en dopplerhylse (SonoDoppler, MISON, Trondheim, Norge (fig 1c). På enden av dopplerhylsen er det festet et ultralydelement som kan lokalisere dopplerskift, dvs. blodstrøm. Instrumentet gir tilbakemelding i form av lyd, og et panel viser dessuten amplitude og dybde for blodstrømmen foran dopplerelementet (fig 1c). Dopplerhylsen gjør det mulig å skille mellom venøs og arteriell blodstrøm like foran tuppen på den laparoskopiske pekeren. Kombinasjonen av pekeren og dopplerhylsen (fig 1d) utgjør dermed et avansert instrument for visualiseringskontroll og blodstrømsdeteksjon under laparoskopisk kirurgi på bakre bukvegg.

Før operasjonen, vanligvis dagen før, tas CT eller MR av pasienten, som har små smultringformede markører limt på kroppen. Disse inneholder CT/MR-kontrastmiddel slik at de vises godt i bildene. Pasienten plasseres i CT/MR-maskinen i samme stilling som han/hun vil bli liggende på operasjonsbordet. Bildene overføres til datamaskinen og konverteres til et internt tredimensjonalt dataformat i vår egenutviklede programvare. Deretter segmenterer vi ut overflaten på viktige organer ved hjelp av en delvis automatisk prosedyre i navigasjonssystemet.

Markørene lokaliseres i bildene og deres posisjoner i bildevolumet lagres i navigasjonssystemet. Etter at pasienten er plassert på operasjonsbordet, markerer kirurgen de samme markørene med en liten, usteril pe-



Hovedbudskap

- Det er utviklet nytt utstyr for tredimensjonal navigering gjennom overflater og bak organer
- Utstyret medfører at laparoskopiske inngrep på bakre bukvegg blir sikrere



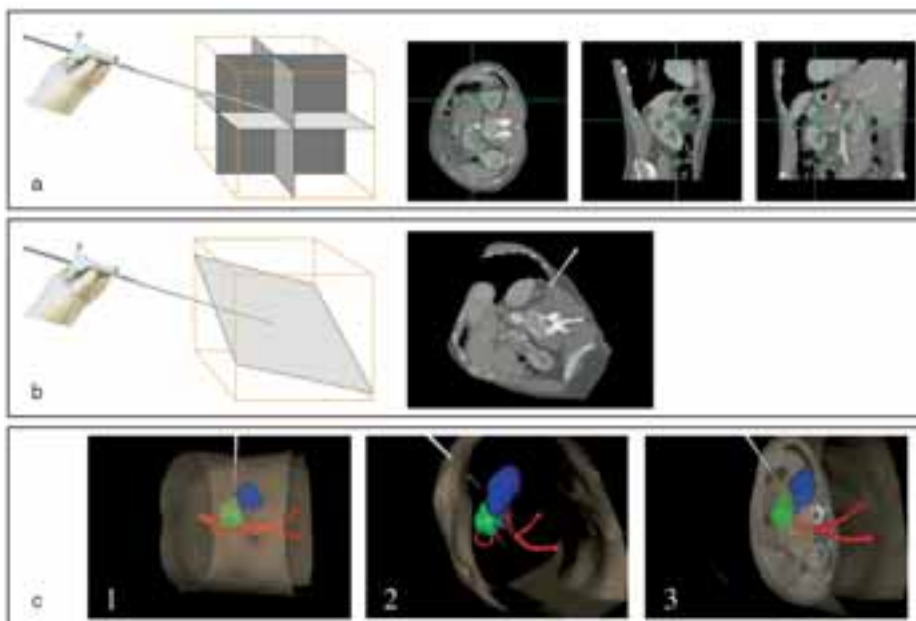
Figur 1 a) Navigasjonssystemet med det optiske posisjonssensorsystemet (Polaris, NDI, Waterloo, Ontario, Canada) og datamaskinen (Macintosh 1.25GHz PowerPC G4, Apple, Cupertino, CA, USA). b) Den laparoskopiske navigasjonspekeren med posisjonssensor. c) Dopplerhylsen (SonoDoppler MISON, Trondheim, Norge) sammen med et laparoskopisk instrument. d) Illustrasjon av bruk av den laparoskopiske navigasjonspekeren i kombinasjon med dopplerhylsen under laparoskopisk kirurgi

ker med posisjonssensor. Navigasjonssystemet har dermed to sett med punkter som tilhører de samme fysiske objekter: punktene for markørene i bildene og punktene for markørene på huden til pasienten. Disse punktsettene kan nå benyttes til å beregne en transformasjon (2), slik at navigasjonssystemet oppfatter at bildene romlig er plassert riktig i forhold til pasienten.

Pasienten forberedes så for operasjon. Før plassering av trokarer kan kirurgen planleg-

ge inngrepet (og plasseringen av trokarene) ved hjelp av navigasjonssystemet. Han/hun benytter da en liten steril peker og peker på huden mens han kan se to- og tredimensjonale bilder fra pasientens indre på skjermen. Pekeren styrer visualiseringen på skjermen, og bildene oppdateres i sanntid, avhengig av posisjon og orientering på pekeren.

De viktigste metodene for visualisering som vi har prøvd klinisk er vist i figur 2. I figur 2a vises konvensjonell todimensjonal



Figur 2 Navigasjonssystemets visualiseringsmetoder. a) Konvensjonell orthogonal snitting med aksialt, sagittalt og koronalt snitt. b) Snitt som følger orienteringen til tuppen av pekeren. c) Overflatemodellvisualisering basert på segmenterte strukturer fra CT- eller MR-bilder. Overflatevisualiseringen kan kombineres med f.eks. snittet som følger pekeren (b)

ortogonal snitting med aksialt, sagittalt og koronalt snitt. Figur 2b viser verktøystyrt todimensjonalt snitt, også kalt «anyplane» eller «oblique» bildeplan i litteraturen. I figur 2c har vi vist overflatevisualisering basert på segmenterte objekter. I tillegg kan systemet kombinere ulike metoder for visualisering, f.eks. overflate og verktøystyrt todimensjonalt snitt, som vist i figur 2c3. Posisjonen til pekeren kan enten visualiseres som en grafisk modell, som vist i figur 2c, eller indikeres som et trådkryss, som vist i figur 2a i 2D-snittene. Vi kan også fritt rotere volumet og forstørre det for å se nærmere på detaljer.

Resultater

Vi har benyttet navigasjonssystemet med den laparoskopiske pekeren ved fire laparoskopiske adrenalectomier. Det ble tatt CT med 3–5 mm avstand mellom snittene for alle pasientene. Tumor (binyren), nærmeste nyre og aorta med sidegrener ble segmentert ut fra CT-bildene før operasjonen (fig 2c). Vi benyttet 4–5 av totalt 5–8 markører for pasientregistreringen og oppnådde en nøyaktighet på fra 4,54 mm til 8,78 mm, med et gjennomsnitt på 7,11 mm. Vi brukte omtrent to minutter på registreringen av bildene til pasienten inne på operasjonsstuen. I tillegg brukte vi 1–2 minutter på en rask kvalitativ verifisering av nøyaktigheten (pekte på pasienten og sjekket overensstemmelsen i bildene). Registreringsprosedyren og planleggingen økte operasjonstiden signifikant, ettersom en del andre nødvendige forberedelser ble gjort samtidig.

Navigasjonssystemet forenklet plasseringen av trokarene, siden det var mulig for kirurgen å «se gjennom» pasienten med 2D/3D-bilder styrt av en peker. Dette igjen førte til bedre tilgang senere i inngrepet. Det bør nevnes at vi kun har utført fire kliniske tester med dette systemet så langt. Kirurgen mente at sikkerheten ble økt i alle fire tilfellene. Det var også enklere å få oversikt over anatomien med systemet. Spesielt nyttig var kombinasjonen av den laparoskopiske navigasjonspekeren og dopplerhylsen. Dette utstyret gjorde det mulig å se tumors relasjon til viktige karstrukturer. Dermed kunne man unngå blødninger og kirurgen kunne operere med større sikkerhet for pasienten. Dopplerhylsen ble også brukt til å sjekke nøyaktigheten intraoperativt. Dette ble gjort ved å se på overensstemmelsen mellom posisjonen til tuppen av pekeren inne i buken og tilsvarende posisjon på navigasjonsskjermen (fig 2) samtidig med informasjon om blodstrøm fra dopplerelementet rett foran tuppen av pekeren. Vi benyttet strukturer som f.eks. nyrearteriens forgrening fra aorta og aortas bifurkatur til denne nøyaktighetskontrollen. Selv om dette kun er en kvalitativ sjekk av nøyaktighet, fikk vi meget god overensstemmelse ved disse kontrollene under operasjonen, ofte bedre enn på huden. Dette skyldes nok at strukturer på bakre bukvegg er mer stabile.

Alle visualiseringsmetodene som er vist i figur 2 ble testet og funnet nyttige. Mens overflatevisualiseringen (fig 2c) gir en oversikt, viser de ortogonale snittene (fig 2a) og det verktøykontrollerte todimensjonale snittet (fig 2b) flere detaljer. Disse opprinnelige bildene er viktige for kirurgen, fordi de viser anatomien uten bildeprosessering. En av de mest nyttige metodene var kombinasjonen av overflatevisualisering og det verktøykontrollerte todimensjonale snittet (fig 2c3). I tillegg til at man ved hjelp av denne metoden får en god oversikt samtidig som man får detaljer fra originalbildene, kan overflatene gjøres gjennomskinnelig eller man kan fjerne overflatestrukturer i visualiseringen for bedre å kunne se detaljer bak eller mellom ulike strukturer.

Diskusjon

Antall minimalt invasive prosedyrer øker, og det er et behov for veiledningsteknologi med bilder for å etablere presis planlegging og kontroll under operasjon. Den nye laparoskopiske navigasjonsspekeren kombinert med dopplerhylsen gjør det mulig å lokalisere strukturer i forhold til blodårer i bakre bukvegg under laparoskopiske inngrep. CT/MR bør utføres med pasienten i samme liggestilling som på operasjonsbordet for å oppnå mest mulig nøyaktig registrering av de preoperative bildene.

Den laparoskopiske navigasjonsspekeren og dopplerhylsen ser ut til å føre til økt sikkerhet og noe redusert operasjonstid for de kliniske tilfellene. Det siste er tilfellet fordi kirurgen raskere enn tidligere kan avgjøre om det er blodårer der det skal kuttes og dermed kan operere med større trygghet. I tillegg gir systemet bedre oversikt over anatomien på en mer forståelig måte enn man har vært vant til tidligere. Totalt sett er derimot operasjonstiden omtrent lik det den ville vært uten bruk av systemet. Dette kommer av at det kreves tid til å sette opp utstyret, registrere bildene til pasienten og planlegge inngrepet med navigasjonssystemet. Vi tror at den totale tiden vil gå ned etter hvert som denne teknologien blir en mer integrert del av oppsettet på operasjonsstuen.

Enkelte organer i fremre del av bukhulen beveger seg eller blir flyttet litt på under laparoskopiske operasjoner. Dette betyr at bruken av den laparoskopiske navigasjonsspekeren er begrenset til bakre bukvegg, columna og bekkenet. Bruken kan utvides til å inkludere f.eks. leveren dersom intraoperativ 2D/3D-avbildning som ultralyd benyttes for å kompensere for anatomiske skiftninger/endringer underveis. Vi arbeider for tiden med å integrere laparoskopisk ultralyd i navigasjonssystemet. Dette vil vi oppnå ved å feste en liten (~ 1 mm) elektromagnetisk posisjonssensor på tuppen av den laparoskopiske ultralydproben.

Ved å feste en posisjonssensor på andre laparoskopiske instrumenter (f.eks. ultralyd-kniv, saks, laparoskop etc.) kan vi med disse

instrumentene oppnå samme funksjonalitet i navigasjonssystemet som for pekeren. Samtidig har kirurgen instrumentets funksjonalitet tilgjengelig under bildeveiledningen. Dette betyr at navigasjonssystemet kan benyttes gjennom lengre perioder av inngrepet uten at man må skifte til pekeren for å oppnå navigasjonsfunksjonaliteten. Navigasjonssystemet kan følge posisjonen til flere instrumenter med posisjonssensorer på samtidig.

I tillegg til adrenalectomier tror vi at pekeren vil være et godt hjelpemiddel under f.eks. lokalisering av vertebrale lesjoner, lymfeknuder på bakre bukvegg eller residivtumorer. I torakoskopi kan dessuten teknologien være nyttig for lokalisering av spinale lesjoner og patologiske forandringer i mediastinum, tror vi.

Konklusjon

Vi har vist at den laparoskopiske navigasjonsspekeren var et nyttig verktøy under laparoskopisk behandling på bakre bukvegg for de kliniske tilfellene som er rapportert. De pekerkontrollerte visualiseringene gjorde planleggingen av inngrepet lettere, spesielt med tanke på plassering av trokarene. Videre gjorde de tredimensjonale visualiseringene styrt av pekeren det mindre komplisert å forstå anatomien og lokaliseringen til viktige strukturer underveis i operasjonen. Teknologien forbedret veiledningen under operasjonen ved at kirurgen kunne «se gjennom og bak» overflaten av organer og vev. Kombinasjonen av navigasjonsteknologien og en dopplerhylse var spesielt nyttig, siden kirurgen interaktivt kunne se blodårer tredimensjonalt og samtidig få informasjon i sanntid om type blodårer og størrelsen på dem foran tuppen på pekeren inne i bukhulen. Dette gjorde det enklere å unngå blødninger, dermed ble det lettere å utføre sikrere inngrep. Denne tredimensjonale navigasjonsteknologien kan være spesielt nyttig ved laparoskopiske inngrep hvor blodårer og anatomiske forhold gjør det vanskelig å operere.

Litteratur

1. Cartellieri M, Kremser J, Vorbeck F. Comparison of different 3D navigation systems by a clinical «user». *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2001; 258: 38–41.
2. Grønningsæter A, Kleven A, Ommedal S, Aarseth TE, Lie T, Lindseth F et al. SonoWand, an ultrasound-based neuronavigation system. *Neurosurgery* 2000; 47: 1373–80.
3. Labadie RF, Fenlon M, Cevikalp H, Harris S, Galloway R, Fitzpatrick JM. Image-guided otologic surgery. *Int Congress Series* 2003; 1256: 627–32.
4. Stefansic JD, Bass WA, Hartmann SL, Beasley RA, Sinha TK, Cash DM et al. Design and implementation of a PC-based image-guided surgical system. *Comput Methods Programs Biomed* 2002; 69: 211–24.
5. Hernes TAN, Ommedal S, Lie T, Lindseth F, Langø T, Unsgaard G. Stereoscopic navigation-controlled display of preoperative MRI and intraoperative 3D ultrasound in planning and guidance of neurosurgery – New technology for minimally invasive image guided surgery approaches. *Minim Invasive Neurosurg* 2003; 46: 129–37.