



Alchiede Simonato

Stefano De Stefani

UROLOGIA

per la Scuola di Medicina



ECIG

APPENDICE 2

LA ROBOTICA IN UROLOGIA

Salvatore Micali

Introduzione

Il vasto campo della Computer Assisted Surgery (CAS) consiste nell'integrazione di tecnologie informatiche e computerizzate nelle classiche fasi diagnostico-terapeutiche e applicabili dalla pianificazione preoperatoria all'esecuzione delle procedure chirurgiche.

Tra i più affascinanti capitoli delle Procedure Mediche Computer-Assistite viene a suddividersi in molte altre discipline e in particolare, la robotica, la Realtà Aumentata (Augmented Reality - AR) e la Navigazione Chirurgica (Navigation in Rigid and Soft Tissue Surgery) rappresentano le più interessanti novità nell'ambito urologico.

Definizione e Storia

Un robot è definito come una macchina artificiale capace di compiere determinate e prestabilite azioni programmabili e pianificabili a priori. I robot sono classicamente suddivisi in tre tipologie e queste sono esaminate in tabella 1.

La tecnologia robotica si è avvicinata all'urologia essenzialmente in due campi: l'endourologia e la chirurgia laparoscopia (tabella 2). Probot (1989) presentava una lama rotante completamente automatizzata programmabile per l'esecuzione di una resezione prostatica transuretrale sotto guida ecografica transrettale (US). URobot fu introdotto per eseguire resezione laser o brachiterapia prostatica con accesso rispettivamente transuretrale e transperineale. Il primo sistema robotico capace di rendersi appetibile per un commercio su larga scala fu (1993) AESOP (Automated Endoscopic System

for Optimal Positioning), un braccio dotato di 7 gradi di libertà per la gestione dell'endoscopio laparoscopico (Degree of Freedom - DoF). Il robot da Vinci® è attualmente l'unico sistema telerobotico disponibile con più di 850 console installate in tutto il mondo. Il da Vinci® ha permesso al chirurgo di superare i limiti della laparoscopia classica: il recupero di tutti i DoF, grazie all'introduzione di strumenti/braccia pluri-snodati, propria dell'innovativa tecnologia Endowrist®, la possibilità di una visione tridimensionale (3D) con una magnificazione dell'immagine relativa al campo operatorio di 6-10 volte e di ridurre il fisiologico tremore umano.

Le attuali applicazioni del sistema Da Vinci®

Attualmente il 60% delle prostatectomie radicali (RP) eseguite negli USA avviene mediante tecnica assistita con il sistema Da Vinci® e questi dati rispecchiano una crescita del 50% dal 2006. Alcuni studi comparativi dimostrano che la RP Robot-assistita (RALP) è associata a minori perdite ematiche e a un tasso di margini neoplastici positivi del tutto sovrapponibili a quelli ottenuti in tecnica tradizionale a cielo aperto. Tuttavia i dati oggi disponibili non sono sufficienti per dimostrare la superiorità di un approccio chirurgico sull'altro in termini di risultati oncologici e funzionali.

I vantaggi offerti alla laparoscopia dall'assistenza robotica permettono un'agevole esecuzione con abbattimento della curva di apprendimento in numerose procedure urologiche, demolitive e ricostruttive (tabella 3). La robotica sembra inoltre poter offrire significativi vantaggi ai principali limiti riscontrati nella chirurgia "monocentrica", la Laparo Endoscopic Single Site Surgery (LESS), e in quella "invisibile", la neonata Natural Orifice Trans Luminal Endoscopic Surgery (NOTES). L'inefficacie triangolazione, una disposizione ravvicinata e parallela degli strumenti laparoscopici/endoscopici e la

mancanza di piattaforme ad esse dedicate ne limitano la diffusione su larga scala soprattutto nella seconda.

Imagie Guided Robot (IGR)

Un IGR prevede la possibilità di esecuzione di differenti procedure chirurgiche ricavando in tempo reale le informazioni necessarie da differenti modalità di diagnostica per immagine tra cui la Tomografia Computerizzata (TC), alla Risonanza Magnetica (RM), la US e la fluoroscopia (C). Tali robot permettono di eseguire in piena autonomia ad esempio l'inserzione di una sonda, ago o altri strumenti verso un particolare target.

In campo urologico, Probot, il primo robot a guida US adottato in ambito clinico, ha visto rapidamente numerosi successori. Tra questi URobot (Ng, Singapore, 2001) progettato per eseguire una resezione laser prostatica o brachiterapia con accesso trans-uretrale e trans-perineale. ACUBOT nato per la puntura percutanea renale mediante utilizzo di immagini TC. Inmotion system è un sistema robotizzato per il puntamento prostatico sotto guida RMN. MrBot, compatibile con differenti diagnostiche per immagine (US, RX, RMN), è un altro robot utilizzato per l'accesso prostatico.

Altri e futuri robot

Mentre il da Vinci® ha permesso di superare alcune limitazioni tipiche della laparoscopia, contemporaneamente ne ha aggiunto delle altre. Tra i principali obiettivi della robotica, riconosciamo la riduzione per il chirurgo della curva di apprendimento e l'esecuzione di procedure sempre più sicure, capaci di offrire risultati omogenei, con una minore variabilità operatore dipendente. I robot recentemente introdotti presentano una sempre più spiccata autonomia oltre che una ridotta invasività per il paziente, minore ingombro in sala operatoria e costi più ragionevoli. Il NeuroArm (Università di

Calgary, Canada), è un robot fornito di doppio braccio autonomo applicato in neurochirurgia, e il Viky System un sistema robotizzato di supporto per telecamera, sono il primo tentativo di ridurre le dimensioni e l'ingombro in sala operatoria.

Le telecamere utilizzate in laparoscopia e nell'attuale chirurgia robotica sono fisse e costrette a soli 4 DoF. Nuovi microrobot sono già capaci di fornire una visione non parallela del campo operatorio e recentemente alcuni hanno mostrato la loro efficacia in una prostatectomia e nefrectomia nel cane. Il pan e tilt microrobot è capace offrire una panoramica del campo operatorio a 360° oltre a variare l'inclinazione verso l'alto o il basso di 45°. Il crawler, composto di 2 cilindri zigrinati è dotato di un'ottica centrale ed è in grado di navigare all'interno della cavità addominale fornendo una visione quanto mai ravvicinata dell'obiettivo chirurgico.

Il Miniature Robot dotato di 6 DoF è in grado di applicare con le sue braccia robotizzate una adeguata forza. Il robot, controllato in remoto, è introdotto nella cavità peritoneale con accesso transgastrico e quindi fissato alla parete addominale mediante magneti.

Con la progressiva miniaturizzazione delle fibre ottiche ogni cavità del corpo umano è ora virtualmente accessibile. Permangono, però alcune limitazioni legate alla capacità di manovrabilità degli endoscopi e in particolare a livello distale, così com'è veramente indaginosa la gestione degli strumenti introdotti per via coassiale nel canale di lavoro (guide, cateteri). L'Hansen Medical remote robotic catheter-control system permette il preciso posizionamento e la manovra dell'estremità distale di uno strumento flessibile permettendo l'esecuzione di una ureterorenoscopia flessibile robotica.

Navigazione chirurgica (Surgical Navigation)

La navigazione in chirurgia è quella disciplina che si pone come obiettivo quello di fornire informazioni aggiuntive relative al campo operatorio non visibili al chirurgo, ad esempio su strutture dei tessuti sottostanti, neoplasie intraparenchimali o strutture nobili quali nervi e vasi sanguigni. La navigazione, in particolare, processa dati ricavati dalla diagnostica per immagine (pre-acquisiti) e li sincronizza in tempo reale mediante sistemi di rilevazione di traccia (Tracking Device) alla situazione preoperatoria in tempo reale.

La Realtà Aumentata (Augmented Reality - AR) e la navigazione in chirurgia endoscopica dei tessuti molli (Navigation in endoscopic soft tissue surgery) rappresentano le applicazioni più affascinanti e potenzialmente più utili nella chirurgia endoscopica urologica.

Realtà Aumentata

Definizione: è un processo di arricchimento di una scena acquisita con informazioni addizionali, grafiche e testuali, sincronizzate e generate da un computer. L'ambiente reale e quello virtuale sembrano coesistere e sono l'uno indistinguibile dall'altro. Da non confondere con la Realtà Virtuale, in cui l'uomo interagisce in un mondo del tutto fittizio, ma costruito ad immagine di quello reale.

Navigazione nei tessuti Rigidi. Le prime applicazioni della AR in chirurgia risalgono a più di 50 anni fa, con l'evoluzione della Navigazione nei tessuti rigidi ed attualmente è comunemente applicate in diverse discipline tra cui l'ortopedia la chirurgia otorinolaringoiatrica.

Un particolare sistema computerizzato permette di rielaborare le immagini preoperatorie (RM, CT o US) ricostruendo un'immagine virtuale bidimensionale o un modello tridimensionale (3D) dell'area di interesse. La rilevazione

intraoperatoria di particolari punti di reperi anatomici e spaziali, rigidi e fissi in tale tipo di chirurgia, permette la sovrapposizione di tali modelli all'immagine riprodotta sul display, fornendo al chirurgo dati supplementivi in merito, ad esempio, alla fisio-anatomia cerebrale intracranica, piuttosto che a particolari assi anatomici ossei. La navigazione nei tessuti rigidi ha trovato terreno facile in tali discipline poiché presentano strutture target indeformabili con rapporti spaziale e reperi anatomici indeformabili e costanti. Attuali applicazioni della navigazione sono ad esempio in neurochirurgia la craniotomia mirata con risparmio della teca cranica oppure l'inserzione con un corretto angolo di una protesi nell'osteosintesi femorale.

Tale tecnologia è stata recentemente applicata alla laparoscopia. Dopo una prima fase preoperatoria di acquisizione e ricostruzione di modelli 3D di un determinato target, questo quindi viene sovrapposto in tempo reale alle immagini endoscopiche mediante sistemi di rilevazione di traccia. Nella chirurgia dei tessuti molli tale immagine può fornire importanti dati concernenti l'anatomia delle strutture circostanti, del grasso e dei visceri permettendo una più fine determinazione dei piani di dissezione, dei margini di resezione e la prevenzione di lesioni alle strutture invisibili sottostanti.

I primi dati in chirurgia sono stati riportati da Baumhauer et al. (1986). Le più importanti pubblicazioni permangono però in neurochirurgia, in cardiocirurgia e chirurgia generale e solo pochi lavori interessano l'urologia. Marescaux è stato il primo a spingersi in ambito urologico eseguendo una surrenalectomia laparoscopica AR-assistita. Altri autori hanno dimostrato la possibilità di identificare e tracciare rispettivamente la sagoma del rene, una neoformazione intralitare, calcoli intracalicali e le vie escrettrici renali. Ukimura e la Cleveland Clinic Foundation hanno riportato i dati preliminari relativi a RP "nerve sparing"

e nefrectomie parziali. Gli stessi autori hanno inoltre elaborato un particolare sistema di navigazione, il "Color coded-zonal": un modello chirurgico ricavato dai dati TC dei pazienti arricchito con differenti aree di rischio in base alla vicinanza con il tessuto interessato (neoplasie, strutture nobili: nervi, vasi). Il Real Time Virtual Sonography (Hitachi Medical Corporation, Chiba, Giappone) permette di sincronizzare immagini preoperatorie TC/RM mediante un rilevamento US intraoperatorio, riportando a video le immagini relative a un determinato tomogramma. Questo sistema si è dimostrato preciso e sicuro nell'ablazione con radiofrequenza e criochirurgia percutanea dei tumori renali.

Problemi dell'AR nei tessuti molli. Rispetto alla neurochirurgia in cui l'AR ha permesso l'evoluzione della Navigazione, l'applicazione in urologia è più difficoltosa. I due problemi cruciali rimangono in primis la possibilità di invadere involontariamente i limiti neoplastici, ma soprattutto la deformazione e la mobilità degli obiettivi chirurgici legata ai movimenti respiratori, del battito cardiaco e alla manipolazione tissutale da parte del chirurgo.

Navigazione in chirurgia endoscopica dei tessuti molli (Navigation in Soft Tissue Endoscopic Surgery).

È la naturale evoluzione dell'AR applicata all'urologia. Mira a superare la distorsione della percezione del campo operatorio e quindi la mancata correlazione fra immagini preoperatorie statiche e le strutture intra-addominali e pelviche.

La fase più indaginosa nella navigazione dei tessuti molli consiste nel registrare e fondere le immagini pre-operatorie con quelle intraoperatorie. I principali attori di tale ruolo sono i dispositivi di localizzazione o di traccia (Digitalizers): essi sono capaci di rilevare e registrare in tempo reale le coordinate spaziali di strutture anatomiche e strumenti chirurgici. I

tracking devices trasmettono le informazioni spaziali concernenti limiti anatomici, strumenti ed endoscopi alle varie modalità di imaging rappresentando tutte queste strutture mediante un comune sistema di coordinate e mettendoli in relazione uno con l'altro. Fin dagli inizi del 1990 sono disponibili in commercio diversi dispositivi e tutti forniscono un'accuratezza di precisione sub millimetrica.

Le migliori immagini pre-operatorie sono offerte dalla TC e RM, ma l'anatomia chirurgica si modifica in modo drastico durante e dopo l'intervento chirurgico. Per tale motivo ora solo la US risulta essere la preferita su larga diffusione. Baumhauer et al. hanno presentato un primo modello di navigazione nella prostatectomia radicale laparoscopica mediante rielaborazione dei dati ricavati da US transrettale 3D. In recenti studi sperimentali l'utilizzo intraoperatorio di RM e fluoroscopia ha permesso di acquisire l'area relativa ad un piccolo volume e di riprodurlo in tempo reale come immagine 3D.

Problemi

I modelli anatomici 3D riprodotti richiedono un continuo aggiornamento dei dati in tempo reale relativi alla posizione istantanea del paziente;

- I complessi algoritmi che mimano il comportamento tissutale sono troppo lenti e non permettono un aggiornamento in tempo reale;

- I mezzi disponibili per l'acquisizione intraoperatoria dell'anatomia del paziente sono troppo limitati, così come la capacità d'integrazione fra dati preoperatori e intraoperatori e l'assenza di materiale dedicato e standardizzato.

Futuro. Gli sforzi maggiori sono rivolti a implementare lo studio di modelli del comportamento dei tessuti molli, necessari per compensare le continui variazioni di sede e le deformazioni di tali strutture durante la navigazione. Solo con

la definizione di più rapidi e precisi modelli matematici, biochimici, ultrastrutturali e dei materiali, la navigazione nei tessuti molli potrà prendere piede.

Tabella 1: Categorie di robot chirurgici

CATEGORIA	DESCRIZIONE	ESEMPI
Sistemi "Master-Slave"	A controllo Remoto Direttamente telecomandati dal chirurgo che opera da una console più o meno remota. I movimenti e le azioni del chirurgo sono traslati in quelli robotici	AESOP (regia ottica laparoscopica automatizzata) Zeus Da Vinci
Sistemi Semi Attivi	Sistemi Sinergici Composti sia da componenti automatizzate che gestite dal chirurgo surgeon-driven component	ModiCAS (artroplastica dell'anca)
Sistemi Attivi	Automatizzati Presentano un'intelligenza artificiale che permette di eseguire differenti procedure in completa autonomia sotto la supervisione del chirurgo	Probot (Lama rotante sotto controllo TRUS per TURP) Abiathem (HIFU) PAKY (Accesso renale percutaneo)

Tabella 2: Evoluzione dei Robot in Chirurgia Urologica

ROBOT	ANNO/APPLICAZIONE	DESCRIZIONE	NOTE
PROBOT	1989	TURP Lama rotante trasuretrale automatizzata sotto guida transretale ecografica	I robot urologici clinicamente efficaci. Non ha mai raggiunto la commercializzazione clinica.
AESOP	1993	Laparoscopia Supporto automatizzato per endoscopio	Primo robot a ricevere la approvazione della FDA e ad entrare in commercializzato.
SR 8438 Sankyo Scara Robot	1995	Biopsia prostatica Guida Ecografica	Primo telerobot applicato in urologia, non ha mai superato la fase di ricerca clinica
PAKY	1998	Accesso renale percutaneo Braccio robotico con sistema automatizzato di inserzione di un ago	
ZZEUS	1998	Sistema Master-Slave Laparoscopico Due braccia robotiche combinate con il sistema di supporto AESOP	Precursore del sistema da Vinci
Da Vinci®	2001	Sistema "Master slave" Laparoscopico Quattro braccia automatizzate, 7 DOF, visione 3D, sistema Endowrist	Attualmente unico robot telemanipolato con più di 850 console installate in tutto il mondo

Tabella 3: Applicazioni del sistema Da Vinci® in urologia.

PROCEDURE ROBOT-ASSISTITE	VANTAGGI/RISCONTATTI			CONCLUSIONI
	CERTI	DATI CONTRASTANTI	NON PROVATI	
Prostatectomia radicale (RALP)	↓perdite ematiche ↓tasso transfusioni ↑margini positivi	Tempo di degenza Analgesici Convalescenza	Continanza Funzione erettile	In attesa di dati oncologici e funzionali a lungo termine
Pieloplastica	/	/	/	Più facile esecuzione
Sacrocolpessia	/	/	/	/
Nefrectomia radicale	Nessun beneficio	/	/	Non indicata
Nefrectomia Parziale		Inferiore tempo di ischemia calda		
Cistectomia radicale	Nessun beneficio			Non indicata

