

# NAVIGAZIONE E ROBOT

## N. Confalonieri

Dipartimento di Ortopedia degli Istituti Clinici di Perfezionamento  
1° Struttura Complessa (Direttore: N. Confalonieri)  
via Bignami 1 – 20100 Milano  
tel. 02/57991 – [norbconf@tin.it](mailto:norbconf@tin.it) – [nconf@icp.mi.it](mailto:nconf@icp.mi.it)

### INTRODUZIONE

**La chirurgia robotica è un sistema meccanico capace di effettuare operazioni che la mano dell'uomo ha difficoltà d'esecuzione, in modo preciso e ripetitivo. In più, offre la possibilità, attraverso la telemedicina e la telechirurgia di essere guidato a distanza da un operatore o da un computer.**

**Il braccio articolato è un sistema meccanico che possiede 5 o 6 articolazioni, all'estremità del quale è fissato uno strumento chirurgico. La sua unità elettronica guida l'azione e calcola, in permanenza, le coordinate dell'estremità dello strumento e la sua collocazione nell'immagine tridimensionale del paziente (3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19)**

**La navigazione è il sistema computerizzato che fa lavorare il chirurgo e lo strumento che ha in mano, all'interno di uno spazio virtuale. Gli offre una visione differente del campo operatorio e lo informa, in tempo reale, dell'esatta posizione dei suoi strumenti (2,11,21,22,33,34).**

**Si chiama CAOS l'acronimo della società scientifica internazionale di Chirurgia Ortopedica Assistita dal Computer (Computer Assisted Orthopaedic Surgery), che ha lo scopo di divulgare e promuovere la ricerca e lo sviluppo di queste tecnologie.**

**Un divertente gioco di parole, in realtà vuol mettere ordine nelle nostre sale operatorie e nei nostri interventi, mediante gli strumenti sofisticati che l'informatica e la robotica ci mettono a disposizione.**

**Siamo agli albori di una grande rivoluzione che investe tutta la chirurgia, non solo la nostra specialità, paragonabile all'avvento dell'endoscopia.**

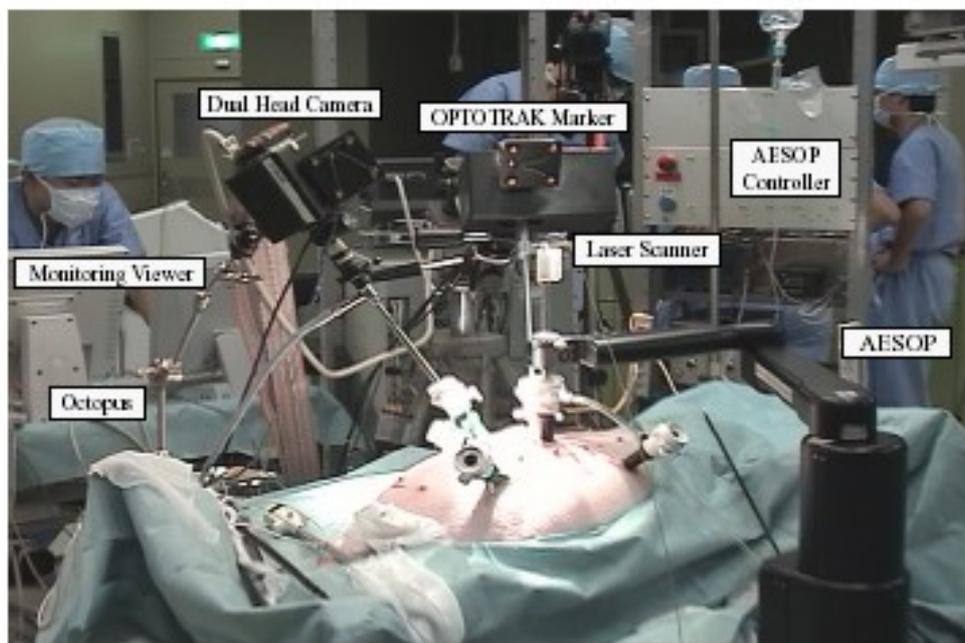
**Il chirurgo, sempre più, opererà in un campo virtuale e farà muovere strumenti di alta precisione, con gesti ripetibili e standardizzabili, aiutato da un computer, nella fase preparatoria dell'intervento, in sala operatoria, come controllo e registrazione dei fatti.**

**Sempre meno artista e artigiano, sempre più scienziato; sempre meno casuale ed impreciso, sempre più infallibile ed organizzatore.**

**Ma vediamo di mettere un po' d'ordine in questi argomenti.**

**Tempo fa, fui invitato a parlare della navigazione ad un convegno, a Milano, riguardante la chirurgia ortopedica miniinvasiva. Sembrava un argomento fuori tema, invece gli organizzatori, probabilmente senza saperlo, avevano introdotto uno dei grandi temi della chirurgia moderna.**

**Infatti, la navigazione fa parte integrante della chirurgia robotica, e questa è nata, proprio come evoluzione dell'endoscopia, per una chirurgia miniinvasiva che vorrebbe aggredire il corpo umano tramite piccoli accessi e minor trauma per il paziente (fig. 1).**



**Oggi, soprattutto in ortopedia, tutti parlano di chirurgia mini-invasiva, ma questo, non sempre si traduce in una mini-lesività. Spesso, si riferiscono solo ad una incisione della pelle più piccola, che riduce la visione e aumenta le possibilità di maggior lesività degli organi sottostanti, interessati dall'atto chirurgico, diminuendo la precisione degli strumenti introdotti ("chirurgia attraverso il buco della serratura"). La chirurgia robotica nasce proprio per ovviare a questi inconvenienti e ridurre l'aggressione al corpo umano. L'esempio più eclatante è in atto nella specialità di cardiocirurgia, dove è possibile, con un robot passivo manipolatore (Da Vinci), operare sul cuore, senza tagliare le coste. Addirittura,**

nel 2003, sono stati eseguiti due interventi di tele chirurgia robotica, con il chirurgo negli Stati Uniti che, grazie ad un robot passivo ed una workstation collegata, via satellite, ad un altro robot (AESOP), in Italia, ha operato, con successo, due pazienti affetti da ernia iatale dello stomaco, attraverso una piccola incisione della pelle. Ma, se questo è il futuro, per ora appannaggio di pochissimi Centri nel mondo, almeno in Ortopedia è possibile, oggi, fare una vera chirurgia mininvasiva, per la cura dell'artrosi de ginocchio, con piccole incisioni, piccole protesi (mono, bimonocompartimentali e unispacer), che risparmiano l'osso e tutti i legamenti del ginocchio, assistita da una tecnica con il computer che aumenta la precisione del gesto e la sicurezza per il malato.

La chirurgia robotica nasce dall'incontro tra il computer ed il cosiddetto automa, un braccio meccanico articolato che si muove, nel campo operatorio, "manipolato" dall'uomo, tramite il computer (workstation), oppure autonomamente, guidato e controllato dal navigatore.

L'idea che il computer potesse guidare il robot, risale al 1940, ma il primo che la realizzò fu J.F. Engelberger, nel 1961 e fu sfruttata dalla General Motors che, nel 1967, utilizzò la prima catena industriale, completamente, robotizzata.

L'idea di guidare uno strumento del chirurgo nei tre piani dello spazio, è nata con il concetto della stereotassia (muoversi nello spazio) ed i padri sono i neurochirurghi Talairach (1948) e Leksell (1972). In seguito, l'informatica e l'immagine numerica sono stati associati alla stereotassia per realizzare la chirurgia assistita dal computer (chirurgia guidata per immagini: navigazione). Dopo la neurochirurgia, è stata applicata alla chirurgia maxillo facciale ed all'orto-traumatologia.

I sistemi di chirurgia guidata dall'immagine utilizzano i tre grandi principi, improntati sulla robotica: Percezione-Ragionamento-Azione.

La navigazione non è altro che un tempo di quel processo informatico, elettronico e robotico, che tende a far eseguire al chirurgo la migliore performance ripetibile, costituendo il fulcro attorno al quale ruotano tutti i principi della chirurgia robotica (36).

## **PERCEZIONE**

Dare al computer tutte le informazioni per ricostruire, virtualmente, l'anatomia del paziente, in fase: pre operatoria od intra operatoria.

Prima dell'intervento, sotto forma di immagine numerica (RMN o TAC) o modello anatomico e statistico.

In sala operatoria, mediante registrazione di punti evidenziati o di superfici, acquisiti da sistemi capaci di numerizzare immagini fluoroscopiche, ultrasuoni, onde radio, magnetiche, raggi infrarossi ecc. Attraverso movimenti, dell'arto interessato, nello spazio (cinematica), per lo studio dei centri di rotazione articolari, mediante modelli matematici.

**Le informazioni pre o intra operatorie, vengono confrontate e sovrapposte ai dati del software, al fine di ricostruire, virtualmente, l'anatomia di quel paziente.**

**Se l'acquisizione dei dati anatomici, tramite TAC, è abbastanza intuibile, quella intra operatoria richiede qualche parola in più.**

**Essa consta di diodi, posizionati sul paziente, che emettono ultrasuoni, onde elettromagnetiche o raggi infrarossi, ed informano il computer, tramite una telecamera-lettore, delle sue coordinate anatomiche, mediante movimenti nello spazio. Acquisiti i dati ed elaborati, secondo modelli matematici, il software è pronto, per quello che è stato programmato, a dare le informazioni previste, utili per migliorare la visione ed opzione (fig. 2).**



## **RAGIONAMENTO**

**E' la preparazione dell'intervento, definendo, in anticipo, le traiettorie ottimali, gli obiettivi da perseguire e le zone da evitare. Informazioni per una simulazione od aiuto, al chirurgo ed al robot, per la migliore opzione.**

## **AZIONE**

**Il modo ed il grado di intervento di un sistema durante la procedura chirurgica:  
Robot passivo (manipolatore - telechirurgia) – Robot attivo (solo in ortopedia) -  
Braccio meccanico articolato – Navigazione pura.**

## **ROBOT PASSIVO – MANIPOLATORE**

**E' la chirurgia robotica che vuole essere miniinvasiva. Con l'ausilio di un endoscopio e di un braccio meccanico articolato, si entra nel corpo umano,**

**attraverso piccole incisioni, e si possono eseguire gesti chirurgici. Non è un vero e proprio robot autonomo, in quanto viene mosso e guidato a distanza dal chirurgo che, in una cabina (fig. 3), con dei manipolatori (realtà virtuale – workstation – telepresenza), simula l'intervento, dopo che il computer (navigazione) ha ricostruito, virtualmente, il campo operatorio e trasmette gli impulsi al braccio meccanico (fig. 4). I gesti chirurgici vengono controllati tramite l'endoscopio.**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

**E' appannaggio, soprattutto, della cardiocirurgia e della chirurgia generale. In commercio ne esistono diversi, i più famosi sono: DA VINCI, AESOP, ZEUS, ERMES e SOCRATES.**

### **ROBOT ATTIVO**

E' il robot nel vero senso della parola. Un braccio meccanico autonomo, guidato da un computer, dopo aver acquisito i dati, elaborato il piano operatorio e preparato il software, tramite la navigazione. E' possibile solo in campo ortopedico, nella chirurgia protesica dell'anca o del ginocchio, per l'esecuzione dei tagli ossei e la preparazione del canale femorale, per l'impianto di artroprotesi senza cemento, a press-fit. Infatti al termine del braccio meccanico è fissata un fresa tagliente, di punta e di lato, che gira ad altissima frequenza e scolpisce l'osso, secondo il piano preparato. Tutto controllato dal navigatore che fa interrompere il circuito al minimo errore o interferenza del sistema.

Tutto ciò, in ortopedia, perché il tessuto è duro ed è possibile fissare il robot all'articolazione, dopo avergliela fatta riconoscere.

Sicuramente, oggi, questa non è una chirurgia miniinvasiva, anzi. I teorici vantaggi dovrebbero consistere nella migliore precisione del taglio osseo, che migliora il fit della protesi ed il suo posizionamento. Inoltre, la ripetitività del gesto, all'infinito, allevia la fatica del chirurgo, soprattutto nella fresatura del canale femorale.

Però, la durata dell'intervento (quasi il doppio), l'esposizione articolare (più del doppio) ed i costi per l'acquisto, la preparazione e la manutenzione del robot, rendono questa chirurgia impraticabile. I pochi Centri al mondo, che la utilizzano, si sono specializzati ed hanno ridotto i problemi, ma restano isole rare, veri laboratori sperimentali in vivo.



Fino a poco tempo fa, esistevano in commercio, due sistemi robotizzati: il CASPAR ed il ROBODOC. Di recente, però, il primo non ha retto il mercato e la Società produttrice è fallita, interrompendo l'esperienza italiana che, in pochissimi Centri Universitari, era iniziata.

### **BRACCIO MECCANICO ARTICOLATO e NAVIGAZIONE**

E' una via di mezzo tra il robot e la navigazione pura. E' un braccio meccanico, fissato all'articolazione, che posiziona la mascherina per i tagli ossei del ginocchio, nella chirurgia protesica. I tagli, vengono eseguiti a mano, con la sega oscillante. Il vantaggio consiste nella precisione dell'impianto, perché tutto guidato dal navigatore, dopo l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, avvenuta, direttamente, in sala operatoria.

Attualmente, in commercio, esiste solo un sistema del genere: il GALILEO della Società di protesi, Endoplus. In fase di validazione, il GPs della Medacta, sta per uscire sul mercato.

### **NAVIGAZIONE PURA**

E' un sistema ancillare che porta il chirurgo ed i suoi strumenti, a lavorare in uno spazio virtuale, con maggiori e migliori informazioni.

E' utilizzata, soprattutto, in campo protesico del ginocchio e dell'anca, però esistono software anche per la chirurgia del legamento crociato anteriore, per le osteotomie del ginocchio, per la chirurgia vertebrale e per la traumatologia.

Esistono diversi sistemi, in commercio, che si differenziano in due grandi gruppi: quelli che acquisiscono i dati pre-operatoriamente, tramite TAC spirale, di solito. Elaborano gli stessi, preparano il piano operatorio, il software e lo inseriscono nel computer dedicato in sala operatoria, prima dell'intervento.

E quelli che fanno tutto al momento dell'intervento, come già descritto sopra, nella fase della percezione.

I sistemi, inoltre, si differenziano in chiusi ed aperti. Quelli chiusi, sono dedicati e possono sviluppare solo il software di una società produttrice di prodotti ortopedici e, quindi, vengono utilizzati per impiantare un solo tipo di protesi. Gli altri, possono applicare diversi software, anche di società concorrenti, permettendo più opzioni. In realtà, tutti i sistemi nascono aperti. Motivi di marketing, di "affidabilità" e sviluppo progettuale, a volte, orientano per l'esclusività.

Fanno parte del primo gruppo i sistemi: BrainLab, Praxim, Medtronic, Stryker, ecc. Del secondo: Navitrack (Sulzer), Galileo (Endoplus) e Orthopilot (Aesculap Braun).

## BIBLIOGRAFIA

**1) Aglietti P, Buzzi R.**

**Posteriorly stabilized total condylar knee replacement: three to eight years follow-up of knees.**

**J Bone Joint Surg 1988;70B:211-216**

**2) Afriat J.**

**Sistema di navigazione Praxim per protesi di ginocchio Genius tri ccc  
Dedienne Sante Sme (F) Astromedical Edizioni – Vimercate (MI) 2002**

**3) H. Kang, T. Wen "EndoBot: a Robotic Assistant in Minimally Invasive Surgeries", Proc. 2001, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 2032-2037.**

**4) M. Mitsuishi, S Tomisaki, T. Yoshidome, H. Hashizume and K Fujiwara.  
"Tele Micro Surgery System with Intelligent User Interface" Proc. 2000, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 1607-1614**

**5) M. Ghodousi, S. Butner, Y. Wang "Robotic Surgery The Transatlantic Case", Proc 2002, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 1882-1888.**

**6) G. Guthart, K Salisbury. "The Intuitive™ telesurgery system: Overview and Application", Proc. 2000, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 618-621.**

**7) V. Muñoz et al, "A Medical Robotic Assistant For Minimally Invasive Surgery",**

Proc. 2000, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 2901-2906.

- 8) G. Cadière et al “*Feasibility of robotic laparoscopic surgery: 146 Cases*” 2001 Word Journal of Surgery, Vol 25, pp 1467-1477.
- 9) A.Faraz, S.Pyandeh. “*A Robotioc Case Study : Optimal Desing for Laparoscopic Positioning Stands*” Proc. 1997, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 1502-1508.
- 10) T.J Gilhuly, S.E. Salcudean, K. Ashe, S. Lichtenstein “*Stabilizer and Surgical Arm design for Cardiac Surgery*“ Proc. 1998, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 699-704.
- 11) I. Espinosa, G.Duchem, E.Dombre, F.Pierrot, and P. Poignet” *Speed Acceleration an Force of a 3 months Pig Beating Heart*”, LIRMM 2002, Robotic Group Internal Report.
- 12) O. Weber et al. “*Real-Time Interactive Magnetic Resonance Imaging With Multiple Coils for the Assessment of Left Ventricular function*”, 1999, Journal of magnetic resonance imaging , Vol 10, pp 826-832.
- 13) Dong-Soo Kwow et al. “*The Mechanism and the Registration method of a Surgical Robot for Hip Arthroplasty*” Proc. 2002, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 1889-1894.
- 14) R H, Taylor et al. “*An Imaged-Directed Robotic System for Precise orthopaedic Surgery*” 1994, IEEE transactions on Robotics and Automation, Vol 10 pp 261-275.
- 15) G.Duchem, E.Dombre, F.Pierrot, and P. Poignet,” *Skin Harvesting Rrobotization with Force Control* ”, Proc. 10<sup>th</sup> International Conference on Advanced Robotics, Hungary Agust 2001.
- 16) L. Adhami, E. Coste-Manière, “*Positioning Tele-Operated Surgical Robots for Collision-Free Optimal Operation*”, Proc 2002, IEEE International Conference on Robotics & Automation. pp 2962-2967.
- 17) T. Yoshikawa, “*Manipulability of Robotic Mechanisms*”, The international journal of robotics research, 1997. Vol 4, pp 3-9, MIT.
- 18) B. Carlise, ” *Robot Mechanisms* “,Proc. 2000, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 701-708.

- 19) Y. Nakamura, K. Kishi, Hiro Kawakami, " *Heartbeat Synchronization for Robotic Cardiac surgery* ", Proc. 2001, IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp 2014-2019.
- 20) Bargren JH, Blaha JD, Freeman MAR.  
Alignment in total knee arthroplasty : correlated biochemical and clinical observations.  
Clin Orthop 1983;173:178-183.
- 21) Confalonieri N., Saragaglia D., Picard F., Cerea P., Motavalli K.  
Computerised OrthoPilot system in arthroprosthesis surgery of the knee.  
J Orthopaed Traumatol 2000;2:91-98
- 22) Confalonieri N., Saragaglia D., Picard F., Chaussard C., Montarbon E., Leitner F., Cinquin P., Cerea P.  
Il sistema computerizzato Orthopilot negli interventi di artroprotesi di ginocchio.  
G.I.O.T. 2000;26(suppl.1):5415-5424
- 23) Ecker MI, Lotke PA, Windor RE, Cello JP.  
Long term results after total condylar knee arthroplasty.  
Clin Orthop 1987;216:151-158.
- 24) Hood RW, Vanni M, Insall JN.  
The correction of knee alignment in 225 consecutive total condylar knee replacements.  
Clin Orthop 1981;160:94-105.
- 25) Hsu H, Garg A, Walker PS, Spector M. Ewald FC.  
Effect of knee component alignment on tibial load distribution with clinical correlation.  
Clin Orthop 1989;240:135-144.
- 26) Insall JN, Scott W, Ranawat CS.  
The total condylar knee prosthesis. A report of two hundred and twenty cases.  
J Bone Joint Surg 1979;61A:173-180.
- 27) Jeffrey RS, Morris RW, Benham RA.  
Coronal alignment after total knee replacement.  
J Bone Joint Surg 1991;73B:709-714.
- 28) Laskin RS.  
Alignment in total knee replacement.

**Orthopaedics 1984;7:62-72**

- 29) Lotke PA, Ecker ML.  
Inuence of positionning of prosthesis in total knee replacement.  
J Bone Joint Surg 1977;59A:77-79.**
- 30) Peterson TC, Engh GA.  
Radiographic assessment of knee aligment after total knee arthroplasty.  
J. Arthroplasty 1988;67-72**
- 31) Ranawat CS, Boachie-Adjei O.  
Survivorship analysis and results of total condylar knee arthroplasty.  
Clin Orthop 1989;240:135-144.**
- 32) Tew M, Waugh W.  
Tibial-femoral alignment and the results of knee replacement.  
J Bone Joint Surg 1985;67B:551-556.**
- 33) Picard F, Leitner F, Saragaglia D, Cinquin P.  
Mise en place d'une prothèse totale genous assistée par ordinateur: A propos  
de 7 implications sur cadavre.  
Rev Chir Orthop 1997 ;83 (suppl. II):31.**
- 34) F, Picard F, Minfelde R, Schultz HJ, Cinquin P. Saragaglia D.  
Computer-assisted knee surgical total replacement.  
In: Lecture note in computer science. CURMed-MRCAS' 97.  
Leitner Berlin-Heidelberg: Springer Verlag edit 1997:629-638.**
- 35) Ramadier JO, Buard JE, Lortat Jacob A, Benoit J.  
Mesure radiologique des déformations frontales du genou.  
Procédé du profil vrai Radiologique.  
Rev Chir Orthop 1982 ;68 :75-78.**
- 36) C. Lalle, A. Soluri et al.  
"Robotica in Chirurgia – stato dell'arte e risultati"  
Volume realizzato dal Consiglio Nazionale Ricerche (Mario Apice)  
Progetto Strategico 2003 - om grafica Roma via luscino 73**