

LA CHIRURGIA COMPUTER ASSISTITA NELLE PROTESI DI GINOCCHIO: STATO DELL'ARTE

Autori: N. Confalonieri, A. Manzotti

1° Struttura Complessa di Ortopedia e Traumatologia
(dir.: N. Confalonieri)
Istituti Clinici di Perfezionamento (C.T.O.)
Via Bignami 1 – Milano

Corrisponding Author: N. Confalonieri
1 U.O. Ortop Traumat
CTO
Via Bignami 1
20 110 Milano
Tel 02-57993346
Fax 02-57993299
Email: norbconf@tin.it

Abstract: Nell'attuale chirurgia ricostruttiva del ginocchio i modelli protesici e la tribologia garantiscono curve di sopravvivenza molto più lunghe. Nessun impianto di protesi totale, però, è in grado di ricreare una normale biomeccanica articolare. Un accurato posizionamento delle componenti protesiche rappresenta un importante fattore nella chirurgia protesica del ginocchio. Infatti, diversi autori hanno dimostrato che la percentuale di mobilizzazione delle protesi di ginocchio, dopo 10 anni, saliva esponenzialmente nei casi di allineamenti maggiori di 4°, in associazione a cattivi bilanci legamentosi. La chirurgia computer assistita (CAS), la cosiddetta navigazione, capitolo fondamentale della chirurgia robotica, è stata introdotta, negli anni '90, in ambito ricostruttivo-ortopedico, come la possibilità di utilizzare sofisticati algoritmi matematici, elaborati da un computer, per consentire al chirurgo di determinare tridimensionalmente le componenti protesiche di un impianto articolare, permettendo così posizionamenti accurati ed un continuo feed-back dal sistema.

Fondamentalmente, i sistemi attualmente disponibili possono essere divisi in image-based, che prevedono l'esecuzione di TAC pre-operatorie o scansione in scopia, ed image-free, senz'altro i più utilizzati, in grado di acquisire direttamente in sala operatoria i dati necessari per la navigazione.

Gli Autori presentano l'attuale stato dell'arte della navigazione nella chirurgia protesica del ginocchio, analizzando i sistemi disponibili, con i relativi vantaggi/svantaggi, oltre ai risultati personali, forti di un'esperienza di oltre 600 impianti, con quasi tutti i sistemi in commercio.

Introduzione:

Inizieremmo con una considerazione di carattere generale. Dopo 10 anni, la chirurgia computer assistita stenta ancora ad essere utilizzata su larga scala. Questo, a nostro avviso, è dovuto al fatto che, finora, abbiamo sbagliato gli interlocutori. Questa tecnologia è molto più utile ai principianti che non agli esperti, alle nuove generazioni, avvezze al computer, piuttosto che ai Primari allergici al planning preoperatorio ed allo strumentario invadente. Inoltre, la moderna chirurgia ortopedica, in ambito ricostruttivo articolare, in questi ultimi anni, ha raggiunto percentuali di successo, inteso come curva di sopravvivenza, ben superiore al 90%, a medio termine, sia per l'anca che per il ginocchio (1). Ciò è stato possibile grazie alla continua evoluzione degli impianti e delle tecniche chirurgiche, frutto di una ricerca verso una ricostruzione il più "anatomica" possibile della nuova articolazione. Tuttavia, se in termini di survivorship i risultati sono stati buoni, altrettanto non si può dire per la ricostruzione di una biomeccanica articolare "naturale". Infatti le attuali protesi, soprattutto per quanto riguarda il ginocchio, non sono ancora in grado di ripristinare una biomeccanica articolare sovrapponibile alla normale, pre-patologia, ma ne producono una nuova, frutto del design protesico (2,3).

In questi ultimi anni, grande attenzione da parte del mondo ortopedico è stata posta a carico di tutti quei possibili miglioramenti tecnologici, in grado di migliorare ulteriormente le "performances" dei nostri impianti articolari. In tempi in cui internet ha rappresentato una rivoluzione epocale, anche la chirurgia ha posto la sua attenzione nei confronti di queste tecnologie sperando di riuscire ad ottenere un ulteriore sviluppo dei propri risultati.

La chirurgia computer assistita (CAS), in ambito ricostruttivo-ortopedico, è stata definita come la possibilità di utilizzare sofisticati algoritmi matematici, elaborati da un computer, per consentire al chirurgo di determinare, tridimensionalmente, le componenti protesiche di un impianto articolare (4).

Nozioni di base:

Il primo tentativo di utilizzare computers, per il posizionamento di impianti ortopedici nell'osso, è stato rappresentato dai sistemi ROBODOT e CASPAR, sviluppati in Germania e negli Stati Uniti, alla fine degli anni 80, basati sull'utilizzo di robot attivi che, attraverso un planning con acquisizione di immagini pre operatorie TAC, erano in grado di eseguire autonomamente i tagli ossei, avendo come riferimento markers pre-posizionati (5,6). Ciò necessitava il posizionamento di reperi ossei, attraverso un "pre-intervento", durante l'esecuzione della TAC. Associato alla notevole invasività dell'intervento stesso, per l'ancoraggio del paziente al robot, ne ha causato un quasi totale abbandono. Qualche chirurgo giapponese e tedesco è rimasto affezionato, mentre gli altri si sono

orientati allo sviluppo di nuovi sistemi di navigazione passiva, fin dagli inizi degli anni 90 (7,8). Questi hanno, infatti, consentito di determinare un campo di raggi infrarossi, in sala operatoria, dove il paziente, il chirurgo ed i suoi strumenti, si muovono, “registrati” da un lettore, collegato ad un computer. L’acquisizione dei dati, per il computer, può avvenire con un esame TAC/fluoroscopia (7,8) o direttamente in sala operatoria, sulle salienze ossee e con movimenti articolari per determinare il centro di rotazione e l’asse anatomico-meccanico. Ciò è stato possibile grazie all’introduzione di sistemi di riferimento ottici, derivati da altre applicazioni industriali (in alternativa, da sistemi di riferimento elettromagnetici o basati su ultrasuoni). Tale tecnologia prevede l’utilizzo di telecamere intra-operatorie, per l’acquisizione di markers, in un sistema tridimensionale, paragonabile al sistema dei satelliti, utilizzati per il GPS. Da qui il termine “navigazione”, che a noi piace poco, perché preconizziamo un utilizzo quotidiano e non, solo, dove la strada è sconosciuta, meglio “grillo parlante”. Comunque, il sistema necessita di almeno 3 punti fissi, non collineari, visibili dalla telecamera, per l’acquisizione di riferimenti “virtuali”. Classicamente i markers vengono definiti attivi (LED), quando sono gli stessi diodi ad emettere luce, in direzione della telecamera (lettore) o passivi quando si limitano a riflettere una luce emessa dalla telecamera stessa. Tali riferimenti virtuali sono implementati dalla registrazione di tutti i reperi anatomici e strumentali, necessari al computer, per l’elaborazione della procedura, in base ad un modello presente nel software del computer. Tale modello include, infatti, sia tutti i riferimenti specifici alla procedura (tipologia dell’intervento, tipo di protesi etc.), sia un modello anatomico “universale”, da cui verranno estrapolati i riferimenti necessari alla navigazione del caso specifico, di cui si sono acquisiti i necessari riferimenti. Il matching dell’anatomia del paziente al modello del computer, avviene con 2 metodi: acquisizione di riferimenti anatomici ben precisi, attraverso salienze ossee: epicondili, margini laterali e gli emipiatti, centro del piatto/gola, ecc.; oppure acquisizione di numerosi punti di superficie a delinearne i contorni (bone morphing).

Il computer, elaborati i dati acquisiti, a questo punto è in grado di “suggerire” al chirurgo tutte le indicazioni necessarie per proseguire nell’atto chirurgico, avendo come obiettivo il posizionamento più conveniente delle componenti protesiche, per correggere la deformazione artrosica; con riferimento nei vari piani anatomici, spazi articolari, resezioni ossee, taglie dell’impianto, lasciando, però, sempre al chirurgo la possibilità di decidere, qual’ora non fosse in accordo con quanto suggerito.

Alcuni sistemi sono sistemi basati sull’acquisizione pre operatoria di immagini, come già accennato, basati su studi TAC o scansioni fluoroscopiche, che necessitano, però, di specifiche calibrazioni, per mantenere un’elevata accuratezza (7,8). L’ostacolo ad maggiore diffusione, di questa tecnologia, è l’aumento del tempo chirurgico (peraltro presto contenuto in 15’) o del tempo

pre-operatorio, dei costi e della curva di apprendimento, senza il suffragio dei vantaggi clinici a medio-lungo termine.

Razionale della CAS nella chirurgia protesica di ginocchio.

E' fondamentale sapere che l'articolazione del ginocchio è un giunglino angolare, suddiviso in tre compartimenti, anatomicamente diversi, con lo loro specifica biomeccanica. La chirurgia protesica del ginocchio necessita di una visione del complesso articolare, considerando non solo le strutture anatomiche ma le forze muscolari ed i vincoli legamentosi. E' stato infatti sottolineato come l'utilizzo di strumentari-guide intra od extrarticolari che non considerino, correttamente, le premesse sopracitate, possano portare a significativi errori nella ricostruzione dell'asse meccanico degli arti inferiori ed a scorretti bilanciamenti legamentosi articolari, in grado di inficiare la funzionalità dell'impianto, nonché la sua sopravvivenza. Mediamente la sopravvivenza, descritta in letteratura, delle attuali protesi di ginocchio, si aggira tra il 80 ed il 95% a 10 anni (9). Tuttavia, diversi autori hanno sottolineato come questa percentuale scenda, significativamente, qual'ora vi sia un eccesso di mal allineamento od uno sbilancio legamentoso. Rand e Coventry hanno dimostrato una riduzione della survivorship di circa il 20%, a 10 anni, in casi di posizionamento delle componenti, con un asse meccanico superiore ai 4° di deviazione da quello ottimale (10). Jeffrey et al. ha dimostrato che la percentuale di mobilizzazione delle protesi di ginocchio, dopo 12 anni, saliva dal 3% al 24%, anche qui in casi di allineamenti peggiori di 4° (11). Altri autori hanno dimostrato come le instabilità legamentose possano aumentare la percentuale di revisioni, per insuccesso, fino al 27% (12). Alla luce di queste premesse, quali sono i principali obiettivi della navigazione nella chirurgia protesica di ginocchio? Il primo, più ovvio, è la determinazione precisa dell'asse meccanico corretto di quell'arto, in relazione al quale, vengono eseguiti tutti i tagli delle superfici articolari, per correggere la deformazione artrosica, con l'impianto delle componenti protesiche. Grazie al riferimento del computer, il chirurgo è in grado, infatti, di sapere, durante tutte le fasi dell'intervento, come rapportarsi ad un allineamento ideale, in relazione al range of motion e con un continuo feedback di verifica, sul monitor del computer. Tale allineamento ideale è identificato dal computer, ma non vincolante per il chirurgo, con un asse meccanico dell'arto di 0° (o 180°), uno slope femorale di 90°, uno slope tibiale di 0° (se postero-stabilizzata), un taglio tibiale a 90° ed uno simile femorale distale. La rotazione della componente femorale, fissa a 3° di extra, rispetto alle all'asse trans-epicondolare ed alla linea di Whiteside, oppure variabile in relazione allo spazio articolare, in flessione, del comparto mediale e laterale.

Il secondo obiettivo, solo con i più moderni software, è il bilancio legamentoso dei tessuti molli. Acquisiti gli spazi articolari dei comparti, in flessione ed estensione, per mezzo dei distrattori, dotati

di sensori, si può ottenere con releases dei legamenti o con i tagli ossei, identificabili dal computer. Il terzo è la valutazione del tracking rotuleo. Un'opportunità offerta dalla navigazione, anche in questo caso tramite un sensore posto sulla rotula, in grado valutare lo scorrimento della rotula durante tutte le fasi dell'intervento ed in relazione all'impianto, nei vari gradi del ROM.

Risultati e nostra esperienza:

La letteratura internazionale riguardo all'utilizzo della navigazione nella chirurgia protesica di ginocchio è, apparentemente, ancora controversa. Infatti, se da una parte è presente la maggioranza dei lavori che ne sottolinea i vantaggi, dall'altra una minoranza ne contraddice i risultati (13,14,15,16). Paradossalmente, anche i lavori di meta-analisi, presenti in letteratura, non sembrano aiutare il chirurgo ortopedico a capire la reale efficacia della navigazione. Infatti, nel 2007, ben 2 lavori (Bauwens et al. e Mason et al), hanno presentato risultati in completo contrasto tra loro (contro ed a favore), riguardo ad un ipotetico migliore allineamento delle componenti, utilizzando la navigazione (17,18). Ancora più clamorosamente, nel 2009, 2 lavori prospettici randomizzati, con gruppi di casi navigati e non, hanno evidenziato risultati in contrapposizione, riportando, Yong Hoo K et al, nessun vantaggio a favore del computer, mentre il secondo, più recente, Pank CK et al, vantaggi, non solo radiografici (19,20).

Premettendo, quindi, che in letteratura non esistono pareri uniformi riguardo alla chirurgia computer assistita, nelle protesi di ginocchio, abbiamo voluto verificare, personalmente, i vantaggi descritti, alla luce della nostra esperienza, iniziata nel 1999 ed ormai frutto di oltre 600 impianti(13). Fondamentalmente, in letteratura sono stati descritti vantaggi "articolari", "extra-articolari", "educazionali" ed "economici", nell'applicazione del grillo parlante.

Ovviamente, tra i vantaggi articolari, la possibilità di potere impiantare le componenti in maniera più corretta, con un continuo feed-back da parte del computer. Questo rappresenta un ovvio vantaggio per una sopravvivenza dell'impianto più lunga. Dato, peraltro, confermato da un nostro studio, confrontando strumentari extra, intramidollari e navigati (13). Altro vantaggio "articolare", descritto da alcuni autori è la possibilità di ottenere bilanci legamentosi più accurati. Swank et al nel 2004 hanno, infatti, dimostrato che la percentuale di manipolazioni per rigidità post-operatorie si riduce, significativamente, grazie ad una tecnica computer assistita con spaziatori o tensionatori nell'esecuzione del bilancio legamentoso (21). Può essere sempre definito un vantaggio "articolare" la possibilità di monitorare il tracking rotuleo, attraverso i più moderni software in grado di valutare lo scorrimento e centratura della rotula, all'interno della troclea femorale, con un significativo miglioramento del patellar tilt, come dimostrato da Luring et al (22).

Tra i vantaggi extra-articolari, senz'altro la possibilità di impiantare correttamente protesi in deformità post trauma del femore o della tibia, in cui non sarebbe possibile utilizzare alcun strumentario intramidollare (23). Altri vantaggi, definiti in maniera più generica, sempre extra-articolari, sono la possibilità di ridurre l'incidenza di emboli. Grazie alla possibilità di usare strumenti extramidollari, in grado, inoltre, di ridurre le perdite ematiche, come ben descritto da Kalairajah et al.(24,25)

I vantaggi "educazionali", evidenziati da differenti autori, in letteratura, sono stati confermati da noi. Confrontando 3 gruppi omogenei di protesi computer assistite, impiantate da 3 chirurghi con differenti esperienze, sia della chirurgia protesica sia nella navigazione, abbiamo riscontrato che, grazie appunto al computer, i principianti erano in grado di ottenere risultati, sull'allineamento corretto, tali da ipotizzare il sistema come il miglior insegnante per questo tipo di interventi (26).

E qui, c'è il cuore della discussione. Infatti, i nostri interlocutori non sono i colleghi più esperti, ma i giovani chirurghi, che si approcciano, timidamente, alla protesica. Il grillo parlante è il migliore amico dei docenti e dei maestri. Il modo più veloce e didattico di spiegare i complessi meccanismi del bilancio legamentoso e della biomeccanica articolare, in relazione alle diverse soluzioni protesiche.

Sono stati ipotizzati, da alcuni autori, addirittura vantaggi economici. Novack et al., hanno ipotizzato, attraverso il modello matematico di Markov, che la riduzione dei cattivi allineamenti porta ad una parallela riduzione di revisioni. Ciò comporta un compenso economico ed un guadagno, a lungo termine, rispetto ai costi immediati della chirurgia computer assistita (27). Cosa già validata, nella nostra esperienza, nella chirurgia protesica con mini-incisione dove, l'alto rischio di cattivi allineamenti, con complicanze costose, può essere evitato con la navigazione (28).

Ultimo vantaggio è rappresentato dalla possibilità di utilizzare la navigazione come "kinematic tool", ossia la possibilità fornita dal computer di poter valutare e quantificare, sul monitor, la performance biomeccanica del ginocchio, in tutto il suo arco di movimento, ottenendo una valutazione funzionale di ciò che il chirurgo ha ottenuto (29,30).

Sviluppi Futuri:

Lo sviluppo della chirurgia computer assistita nell'ambito della chirurgia protesica di ginocchio procede fondamentalmente in 2 direzioni, ossia sia verso una semplificazione della tecnica di navigazione onde renderla di più facile accesso al chirurgo, sia verso un miglioramento tecnologico dei vari software in grado di fornire dati sempre più preziosi al chirurgo (34,35).

In ambito semplificativo numerose aziende si sono rese conto che ostacolo alla diffusione di questa metodica è causato dalla complessità del gesto tecnico a volte associato a nuove complicanze e

tempi chirurgici più lunghi. Perciò sono state rese disponibili migliorie negli attuali software dove il tempo di acquisizione è stato ridotto grazie alla possibilità di un'acquisizione di un numero minore i punti di riferimento senza però condizionare l'accuratezza del sistema con allungo complessivo dei tempi chirurgici che, nella nostra esperienza, si aggira a non più di 10 minuti. Attenzione è rivolta anche allo sviluppo di nuovi tools in grado di semplificare la procedura. Sono stati proposti infatti ad esempio tracker che non necessitano più di essere posizionati su fiches ancorate nell'osso ma semplicemente incollate alla cute con pellicole trasparenti con l'ovvio vantaggio di ridurre sia i tempi chirurgici sia le potenziali complicazioni (36).

Nell'ambito del miglioramento tecnologico notevole attenzione è attualmente posta alla creazione di nuovi software in grado di navigare non solo protesi totali ma anche protesi parziali come protesi di femoro-rotulea (utilizzando il software per il tracking rotuleo della protesi totale), protesi monocompartimentali e bi-monocompartimentali (35). I lavori già presenti in letteratura sottolineano la buona affidabilità dei risultati con un trend sovrapponibile alle protesi totali ossia ottimi allineamenti, spesso fondamentali nelle tecniche mini-invasive, riduzione degli outliers ma non ancora riportati effettivi vantaggi clinici (37,38).

Un capitolo a parte è rappresentato dalle protesi bi-monocompartimentali femoro-tibiali dove l'utilizzo della navigazione ha consentito nella nostra esperienza, oltre a raggiungere ottimi allineamenti, la riduzione di complicanze intra-operatorie come l'avulsione delle spine tibiale causa una eccessiva trazione del LCA (39).

La chirurgia degli small implants rappresenta ad ogni modo forse l'interesse maggiore per lo sviluppo sempre maggiore di nuove tecnologie legate alla chirurgia computer assistita come l'utilizzo di robot semiattivi sia nell'impianto di protesi monocompartimentali sia di protesi bi-monocompartimentali con già i primi reports pubblicati in letteratura (40,41).

Un accenno finale deve essere dedicato allo sviluppo della navigazione nella chirurgia di revisione della protesi di ginocchio. A tutt'oggi in generale la revisione delle protesi di ginocchio rappresenta una procedura impegnativa a causa delle simultanee difficoltà da affrontare, quali la perdita di tessuto osseo, il bilanciamento legamentoso ed il ripristino della normale linea articolare (31).

Nonostante i pochi dati in letteratura, la chirurgia computer assistita teoricamente può offrire numerosi vantaggi nell'affrontare questi casi complessi soprattutto se associati allo sviluppo di software dedicati. In letteratura già alcuni autori ha analizzato i primi risultati del suo impiego nella revisione asettiche. Perlick et al. nel 2005 ha riportato che l'utilizzo della navigazione nella revisione delle TKR possa portare ad ottenere un allineamento degli arti migliore rispetto alle tecniche convenzionali (32). Nel 2008 Massin et al ha sottolineato come nella revisione della TKR la navigazione è molto più affidabile rispetto alle tecniche tradizionali sia nella ricostruzione delle

estremità ossee sia nella ripristino dell'articolari  (33). Sul mercato sono prossimi all'introduzione software navigati in cui sar  possibile navigare fittoni e wedge rendendo teoricamente il reimpianto una procedura pi  standardizzata, obbiettivabile e con continuo feedback da parte del sistema. Ovviamente a ci  dovranno seguire studi clinici in grado di confermare questi vantaggi teorici.

BIBLIOGRAFIA:

1. Havelin LI, Fenstad AM, Salomonsson R, Mehnert F, Furnes O, Overgaard S, Pedersen AB, Herberts P, Karrholm J, Garellick G. The Nordic Arthroplasty Register Association. *Acta Orthop*. 2009 Jan 1:1-9.
2. Benedetti MG, Catani F, Bilotta TW, Marcacci M, Mariani E, Giannini S. Muscle activation pattern and gait biomechanics after total knee replacement. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003 Nov;18(9):871-6
3. Benedetti MG, Catani F, Bilotta TW, Marcacci M, Mariani E, Giannini S. Muscle activation pattern and gait biomechanics after total knee replacement. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003 Nov;18(9):871-6
4. Visarius H, Gong J, Scheer C, Haralamb S, Nolte LP. Man-machine interfaces in computer assisted surgery. *Comput Aided Surg*. 1997;2(2):102-7
5. Siebert W, Mai S, Kober R, Heeckt PF. Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement. *Knee*. 2002 Sep;9(3):173-80
6. Hananouchi T, Nakamura N, Kakimoto A, Yohsikawa H, Sugano N. CT-based planning of a single-radius femoral component in total knee arthroplasty using the ROBODOC system. *Comput Aided Surg*. 2008 Jan;13(1):23-9
7. Jenny JY. The history and development of computer assisted orthopaedic surgery] *Orthopade*. 2006 Oct;35(10):1038-42. Review
8. Perlick L, Balthis H, Tingart M, Perlick C, Grifka J. Navigation in total-knee arthroplasty: CT-based implantation compared with the conventional technique. *Acta Orthop Scand*. 2004 Aug;75(4):464-70
9. Gandhi R, Tsvetkov D, Davey JR, Mahomed NN. Survival and clinical function of cemented and uncemented prostheses in total knee replacement: a meta-analysis. *J Bone Joint Surg Br*. 2009 Jul;91(7):889-95
10. Rand JA, Coventry MB. The accuracy of femoral intramedullary guides in total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 1988; 232:168-173
11. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1991 Sep;73(5):709-14
12. Fehring TK, Odum S, Griffin WL, Mason JB, Nadaud M. Early failures in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2001 Nov;(392):315-8

13. Confalonieri N, Manzotti A, Pullen C, Ragone V. Computer-assisted technique versus intramedullary and extramedullary alignment systems in total knee replacement: a radiological comparison. *Acta Orthop Belg.* 2005 Dec;71(6):703-9
14. Saragaglia D, Picard F, Le Bretonchel T, Moncenis C, Sardo M, Tourne Y.[Acute anterior instability of the shoulder: short- and mid-term outcome after conservative treatment] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2001 May;87(3):215-20
15. Stulberg SD, Loan P, Sarin V. Computer-assisted navigation in total knee replacement: results of an initial experience in thirty-five patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A Suppl 2:90-8
16. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, Zink A. Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br.* 2003 Aug;85(6):830-5
17. Bauwens K, Matthes G, Wich M, Gebhard F, Hanson B, Ekkernkamp A, Stengel D. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007 Feb;89(2):261-9
18. Mason JB, Fehring TK, Estok R, Banel D, Fahrbach K. Meta-analysis of alignment outcomes in computer-assisted total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty.* 2007 Dec;22(8):1097-106. Review
19. Kim YH, Kim JS, Choi Y, Kwon OR. Computer-assisted surgical navigation does not improve the alignment and orientation of the components in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2009 Jan;91(1):14-9
20. Pang CH, Chan WL, Yen CH, Cheng SC, Woo SB, Choi ST, Hui WK, Mak KH. Comparison of total knee arthroplasty using computer-assisted navigation versus conventional guiding systems: a prospective study. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2009 Aug;17(2):170-3
21. Swank ML. Computer-assisted surgery in total knee arthroplasty: recent advances. *Surg Technol Int.* 2004;12:209-13
22. Luring C, Perlick L, Balthis H, Tingart M, Grifka J. The effect of femoral component rotation on patellar tracking in total knee arthroplasty. *Orthopedics.* 2007 Nov;30(11):965-7
23. Mullaji A, Shetty GM. Computer-Assisted Total Knee Arthroplasty for Arthritis With Extra-articular Deformity. *J Arthroplasty.* 2009 Jul 3 [Epub ahead of print]
24. Kalairajah Y, Cossey AJ, Verrall GM, Ludbrook G, Spriggins AJ. Are systemic emboli reduced in computer-assisted knee surgery?: A prospective, randomised, clinical trial. *J Bone*

- Joint Surg Br. 2006 Feb;88(2):198-202. Erratum in: J Bone Joint Surg Br. 2006 Oct;88(10):140
25. Kalairajah Y, Simpson D, Cossey AJ, Verrall GM, Spriggins AJ. Blood loss after total knee replacement: effects of computer-assisted surgery. J Bone Joint Surg Br. 2005 Nov;87(11):1480-2
 26. Manzotti A, Cerveri P, De Momi E, Pullen C, Confalonieri N. Relationship between cutting errors and learning curve in computer-assisted total knee replacement. Int Orthop. 2009 Jun 10 [Epub ahead of print]
 27. Novak EJ, Silverstein MD, Bozic KJ. The cost-effectiveness of computer-assisted navigation in total knee arthroplasty. J Bone Joint Surg Am. 2007 Nov;89(11):2389-97
 28. Confalonieri N, Manzotti A, Pullen C, Ragone V. Mini-incision versus mini-incision and computer-assisted surgery in total knee replacement: a radiological prospective randomised study. Knee. 2007 Dec;14(6):443-7. Epub 2007 Sep 19
 29. Casino D, Zaffagnini S, Martelli S, Lopomo N, Bignozzi S, Iacono F, Russo A, Marcacci M. Intraoperative evaluation of total knee replacement: kinematic assessment with a navigation system. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2009 Apr;17(4):369-73. Epub 2008 Dec 20
 30. Picard F, Deakin AH, Clarke JV, Dillon JM, Gregori A. Using navigation intraoperative measurements narrows range of outcomes in TKA. Clin Orthop Relat Res. 2007 Oct;463:50-7
 31. Whittaker JP, Dharmarajan R, Toms AD. The management of bone loss in revision total knee replacement. J Bone Joint Surg Br. 2008 Aug;90:981-7. Review
 32. Perlick L, Lüring C, Tingart M, Grifka J, Bähris H. Revision prosthetic of the knee joint. The influence of a navigation system on the alignment and reconstruction of the joint line. Orthopade. 2006 Oct;35(10):1080-6.
 33. Massin P, Boyer P, Pernin J, Jeanrot C. Navigated revision knee arthroplasty using a system designed for primary surgery. Comput Aided Surg. 2008 Jul;13(4):179-87
 34. Swank ML, Alkire M, Conditt M, Lonner JH. Technology and cost-effectiveness in knee arthroplasty: computer navigation and robotics. Am J Orthop. 2009 Feb;38(2 Suppl):32-6
 35. Confalonieri N, Manzotti A, Montironi F, Pullen C. Tissue sparing surgery in knee reconstruction: unicompartamental (UKA), patellofemoral (PFA), UKA + PFA, bi-unicompartamental (Bi-UKA) arthroplasties. J Orthop Traumatol. 2008 Sep;9(3):171-7
 36. Manzotti A, Confalonieri N, Pullen C. Intra-operative tibial fracture during computer assisted total knee replacement: a case report. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 May;16(5):493-6

37. Jenny JY. Unicompartmental knee replacement: a comparison of four techniques combining less invasive approach and navigation. *Orthopedics*. 2008 Oct;31(10 Suppl 1).
38. Rosenberger RE, Fink C, Quirbach S, Attal R, Tecklenburg K, Hoser C. The immediate effect of navigation on implant accuracy in primary mini-invasive unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008 Dec;16(12):1133-40.
39. Lonner JH. Modular bicompartamental knee arthroplasty with robotic arm assistance. *Am J Orthop*. 2009 Feb;38(2 Suppl):28-31.
40. Confalonieri N, Manzotti A. Mini-invasive computer assisted bi-unicompartmental knee replacement. *Int J Med Robot*. 2005 Dec;1(4):45-50
41. Lonner JH. Indications for unicompartmental knee arthroplasty and rationale for robotic arm-assisted technology. *Am J Orthop*. 2009 Feb;38(2 Suppl):3-6