



FACULDADE DE MEDICINA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

2009/2010

Nádia Tenreiro e Amarante de Almeida
Cirurgia de Navegação na Artroplastia Total do Joelho

Abril, 2010

FMUP



FACULDADE DE MEDICINA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Nádia Tenreiro e Amarante de Almeida
Cirurgia de Navegação na Artroplastia Total do Joelho

Mestrado Integrado em Medicina

Área: Ortopedia

Trabalho efectuado sobre a Orientação de:

Prof. Manuel Gutierrez

Abril, 2010

FMUP

Eu, Nádía Tenreiro e Amarante de Almeida, abaixo assinado, nº mecanográfico 040801083, aluno do 6º ano do Mestrado Integrado em Medicina, na Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, declaro ter actuado com absoluta integridade na elaboração deste projecto de opção.

Neste sentido, confirmo que NÃO incorri em plágio (acto pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria de um determinado trabalho intelectual, ou partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores, foram referenciadas, ou redigidas com novas palavras, tendo colocado, neste caso, a citação da fonte bibliográfica.

Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, 16/04/2010

Assinatura: Nádía Tenreiro e Amarante de Almeida

Nome: Nádia Tenreiro e Amarante de Almeida

Endereço electrónico: nadiataa@gmail.com

Título da Dissertação/Monografia/Relatório de Estágio:

Cirurgia de Navegação na Artroplastia Total do Joelho

Nome completo do Orientador:

Manuel António Pereira Gutierrez

Nome completo do Co-Orientador:

Ano de conclusão: 2010

Designação da área do projecto de opção:

Ortopedia

É autorizada a reprodução integral desta Monografia apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, 16/04/2010

Assinatura: Nádia Tenreiro e Amarante de Almeida

Cirurgia de Navegação na Artroplastia Total do Joelho

Total Knee Arthroplasty using Computer-Assisted Surgery

Nádia Almeida, T. A.¹

Faculdade de Medicina do Porto

¹Aluno de 6º ano de Mestrado Integrado em Medicina

Correspondência

Nádia Almeida

Faculdade de Medicina do Porto

Al. Prof. Hernâni Monteiro 4200 - 319 Porto PORTUGAL

e-mail: nadiataa@gmail.com

Declaração de conflito de interesses: nada a declarar.

Resumo

Objectivo: O objectivo desta monografia é comparar os sistemas CAS que não recorrem a imagem com a cirurgia convencional, atendendo aos resultados obtidos em ambas as cirurgias e às potenciais complicações, analisando igualmente a relação custo-eficácia e possíveis questões médico-legais.

Fontes dos dados: Utilizando a MEDLINE, procedeu-se à pesquisa de artigos, usando como query “total knee replacement AND computer assisted surgery”. Destes foram incluídos os que satisfaziam os seguintes critérios 1) ATJ primária por CAS; 2) técnica de CAS livre de imagem; 3) avaliação pós-operatória do eixo mecânico do membro inferior e da posição das próteses; 4) inclusão pelo menos 10 pacientes no grupo de casos. Foram incluídos 26 artigos.

Síntese dos dados: os resultados indicam que a artroplastia total do joelho por navegação oferece uma melhoria na orientação dos componentes protésicos em todos os planos quando comparada com a cirurgia convencional, diminuindo significativamente as complicações embólicas.

Conclusões: O objectivo da cirurgia por navegação é reduzir o número de *outliers* e assegurar que a diferença entre o resultado obtido e o esperado é minimizada. O aumento da longevidade das próteses irá diminuir a necessidade de revisão da ATJ, reduzindo consequentemente a morbi-mortalidade e os custos de saúde associados a estes procedimentos. O valor da CAS num contexto clínico está claramente articulado com a redução de erros e das revisões que daí possam advir.

Palavras-chave: Ortopedia; Artroplastia Total do Joelho, Cirurgia de Navegação

Abstract

Goal: the goal of this article was to compare total knee replacement using image-free computer-assisted surgery with the conventional technique. For that purpose, the post-operative results obtained with each type of surgery was analyzed, as well as its potential complications, cost-analysis and possible medical-legal issues.

Data source: the MEDLINE database was searched using “total knee replacement AND computer assisted surgery” as query. As inclusion criteria the articles should include the following 1) primary total knee arthroplasty; 2) image-free computer-assisted surgery; 3) post-operative evaluation of the mechanical axis and component position; 4) inclusion of at least 10 patients in the case group. Thus, 26 articles that met our inclusion criteria were found.

Data synthesis: results indicate that total knee arthroplasty using computer-assisted system provide better mechanical and component alignment, with a significant reduction of the embolic events.

Conclusion: the goal of the computer-assisted surgery is to reduce the outliers, minimizing the difference between expected and actual alignment. The increased component longevity leads to a decreased revision rate, thus resulting in better morbid-mortality rates and less associated health costs. The clinical value of computer-assisted surgery is clearly hinged with error and revision reduction.

Keywords: Orthopedics; Total Knee Arthroplasty; Computer-Assisted Surgery

Índice

Introdução	2
Métodos	3
Resultados	4
Eixo Mecânico.....	5
Alinhamento no plano frontal	5
Alinhamento no plano sagital.....	5
Joelhos com deformidade	6
Balanço ligamentar	6
Tempo cirúrgico.....	6
Complicações.....	6
Outcome funcional	8
Curvas de aprendizagem	9
Custo-eficácia e taxas de revisão.....	9
Questões médico-legais.....	10
Discussão	10
Conclusão	11
Agradecimentos.....	13
Bibliografia.....	14

Introdução

A artroplastia total do joelho (ATJ) é um procedimento cirúrgico bem estabelecido, praticada há mais de 50 anos e que produz excelentes resultados no tratamento da gonartrose. O seu sucesso depende de vários factores, apresentando três grandes desafios: alinhamento perfeito dos componentes, bom equilíbrio de partes moles e congruência entre a articulação femuro-tibial e o aparelho extensor. (1)

Idealmente, o cirurgião procura:

- colocar uma prótese alinhada nos três planos (sagital, coronal e axial), com o componente femoral adaptado ao tibial ao fazer a extensão com ligeira rotação;
- obter uma linha articular apropriada;
- existência de balanço ligamentar tanto em flexão como em extensão para permitir uma boa estabilidade (mas sem limitar o movimento, acelerar o desgaste do polietileno ou alterar o movimento patelar).

A rotação dos componentes tibial e femoral é especialmente importante para o joelho indolor; a rotação anormal da prótese pode levar a problemas de *mal-tracking* da rótula e dor anterior do joelho. Contudo e apesar do uso de sistemas de alinhamento manuais, estima-se que em 10% das ATJ ocorram desvios do eixo mecânico superiores a 3°. (2)

Os métodos tradicionais apoiam-se na identificação visual dos acidentes ósseos, sendo que esta técnica possui uma falta de precisão inerente.

Assim, a necessidade de uma técnica cirúrgica mais precisa e fiável, levou à introdução da cirurgia assistida por computador (CAS, *computer-assisted surgery*) nas ATJ, com a premissa de permitir um posicionamento mais preciso dos componentes em relação ao eixo mecânico do membro, melhorando igualmente o balanço ligamentar. (3). A CAS oferece uma visualização

mais detalhada ao criar um modelo virtual da anatomia cirúrgica, com informação relevante acerca das posições dos instrumentos cirúrgicos ou implantes. A base dos sistemas CAS é a representação virtual da anatomia cirúrgica e a certeza de que, através da ligação do modelo virtual ao paciente, as imagens apresentadas são coincidentes com o *situs* cirúrgico.

Existem várias tecnologias disponíveis que tornam este tipo de cirurgia possível. Os sistemas CAS de primeira geração utilizam métodos de imagem pré-operatórios, principalmente a tomografia computadorizada (TC), para criarem uma representação das estruturas ósseas envolvidas na cirurgia. Opcionalmente, também podem ser aplicados métodos de imagem intra-operatórios, como a fluoroscopia. Outra alternativa, é a utilização de sistemas que não recorrendo a métodos imagiológicos, constroem o modelo virtual exclusivamente a partir informação posicional adquirida interactivamente. A imagem é então criada a partir da análise cinemática do movimento articular, tendo como referência pontos anatómicos, e o seu cruzamento com dados anatómicos estatísticos.

O objectivo desta monografia é comparar os sistemas CAS que não recorrem a imagem com a cirurgia convencional, atendendo aos resultados obtidos em ambas as cirurgias e às potenciais complicações, analisando igualmente a relação custo-eficácia e possíveis questões médico-legais.

Métodos

Utilizando a MEDLINE, via PubMed, procedeu-se à pesquisa de artigos, usando como *query* “total knee replacement AND computer assisted surgery”. Foram encontrados 445 artigos, com limite de 10 anos em relação à data de publicação e restrição a artigos escritos em inglês, francês, espanhol e português.

Destes foram incluídos os que satisfaziam os seguintes critérios:

- 1) ATJ primária por CAS;
- 2) técnica de CAS livre de imagem;
- 3) avaliação pós-operatória do eixo mecânico do membro inferior e da posição das próteses;
- 4) inclusão pelo menos 10 pacientes no grupo de casos.

Após leitura de *abstract* ou integral, foram incluídos 26 artigos sobre artroplastia total do joelho efectuada por cirurgia de navegação. Relativamente às medidas radiográficas de alinhamento pós-operatório, considerou-se $180^{\circ} \pm 3^{\circ}$ varo/valgo um alinhamento óptimo. Em relação ao alinhamento dos componentes femoral e tibial (plano frontal e sagital), considerou-se uma igualmente margem de erro aceitável de $\pm 3^{\circ}$.

Resultados

Após a pesquisa inicial de 445 artigos, um total de 26 artigos foram de encontro aos critérios de inclusão. Destes, 14 são estudos de comparação directa entre ATJ por CAS e ATJ convencional, com datas de publicação de 2001 a 2009. A maioria dos estudos são Europeus, principalmente efectuadas em centros independentes ou hospitais universitários. Quando indicada, a escolha do modelo protésico e da técnica de cimentação foi altamente variável. As características dos pacientes foram minimamente descritas em todos os estudos, sendo osteoartrite a principal causa para ATJ (>85% dos pacientes).

Eixo Mecânico

A maioria dos estudos utilizou imagens radiológicas como medida do alinhamento pós-operatório do eixo mecânico. Dos 11 estudos comparativos que analisaram este parâmetro, 5 demonstraram que a utilização de sistemas de navegação melhorou significativamente o alinhamento da prótese, com resultados estatisticamente significativos ($p < 0,01$ (4) a $p < 0,0001$ (5)) (4-8). Outro achado foi a drástica diminuição dos *outliers* (casos de escape das margens de segurança) ($p < 0,02$ a $p < 0,0001$) (6, 9-11). Os restantes estudos, embora não apresentassem resultados estatisticamente significativos, relataram resultados mais próximos dos 180° com o recurso à CAS(9, 12-14).

Em relação aos estudos não comparativos, a taxa de sucesso de alinhamento do eixo mecânico (180 ± 3) variou entre 92,3% a 98,6% dos pacientes(10, 15).

Alinhamento no plano frontal

Em relação a este parâmetro, alguns estudos detectaram melhorias estatisticamente significativas com recurso à navegação ($p < 0,05$ a $p < 0,0001$)(4-6, 11, 16-17), embora com maior número de desvios para valgo do componente femoral no grupo de navegação(4-5). No entanto, a vários não conseguiram obter resultados estatísticos nem em relação ao componente femoral, nem ao tibial (7, 12-13).

Alinhamento no plano sagital

Relativamente ao plano sagital, 5 estudos comparativos (em 11) demonstraram melhor alinhamento no grupo submetido a cirurgia de navegação ($p < 0,04$ a $p < 0,0001$), independentemente do componente avaliado (7, 11, 13, 16, 18). Adicionalmente, dois estudos verificaram apenas melhor alinhamento do componente tibial ($p < 0,001$)(4, 19). Quanto ao componente femoral, dois estudos demonstraram melhoria nesse parâmetro, tendo sido relatados mais casos de mau-alinhamento grave ($\text{desvio} > 3^\circ$) no grupo que foi

submetido a cirurgia convencional ($p < 0,001$ a $p < 0,0001$)(5, 17). Apenas dois estudos não encontraram diferenças estatisticamente significativas(9, 12).

Joelhos com deformidade

Em 2008, Hadjicostas *et al* efectuou 15 ATJ por navegação em pacientes com deformidades superiores a 15° de valgo (com uma média de 21° de deformidade femorotibial), com displasia do côndilo lateral e erosão do prato tibial lateral(20). Após a cirurgia, nos doentes em que foi necessário efectuar transferência condiliana para retensionar os ligamentos colaterais, todos os joelhos demonstraram um desvio valgo-varo $< 6^\circ$ em extensão (13 tinham $< 6^\circ$ e 2 tinham entre 6° e 9° em flexão), com preservação da estabilidade articular em ambas as posições (20).

Balanço ligamentar

Em relação ao balanço ligamentar, um estudo centrou-se apenas na possibilidade que a cirurgia de navegação oferece como predictor da necessidade de libertação do ligamento colateral e demonstrou que este tipo de cirurgia permite uma redução do número de vezes que esta libertação é utilizada, obtendo-se eixos mecânicos de 0° num joelho estável(21).

Tempo cirúrgico

Todos os artigos que avaliaram o tempo cirúrgico constataram que este é superior na ATJ por navegação, sendo a diferença estatisticamente significativa ($p < 0,01$ a $p < 0,0001$)(4, 11-12, 14-15, 17, 22-23). Esta diferença de tempo operatório é semelhante àquela que se verifica entre a cirurgia que utilize guias extramedulares vs intramedulares ($p < 0,0002$)(15).

Complicações

Um aspecto importante a considerar na CAS é a potencial existência de complicações quando se efectua este tipo de cirurgia. As complicações inerentes à CAS são a fractura da tíbia e fémur após colocação dos *tracking arrays*, e o aumento da incidência de infecções

profundas devido ao maior tempo cirúrgico(24). No entanto, estas complicações não foram documentadas em nenhum dos artigos incluídos.

Na ATJ por navegação, o facto de não se utilizarem guias intramedulares pode trazer grandes benefícios em termos de carga embólica. Isto já foi verificado em alguns estudos que utilizaram apenas guias extra-medulares durante a ATJ convencional(25-28), utilizando as técnicas mais recentes de detecção de êmbolos (27). Num estudo publicado por Kalairajah *et al* (22), assistiu-se a uma diminuição altamente significativa da detecção de êmbolos por Doppler transcraniano. No entanto, não foi possível determinar a natureza nem a dimensão precisa dos êmbolos por este método. Para tentar ultrapassar esta limitação, Church(29) efectuou um estudo que recorre ao ecocardiograma transesofágico intra-operatório e, utilizando o *score* ecogénico de êmbolos modificado da clínica Mayo, chegou à mesma conclusão.

Em relação às perdas hemáticas, Kalairajah *et al* (23) relatou uma redução estatisticamente significativa das perdas hemáticas médias ($p=0,001$) no grupo submetido a cirurgia de navegação). No entanto, outros estudos encontraram perdas hemáticas semelhantes nos dois grupos(7, 11, 14), embora o seu objectivo principal não fosse este.

Matsumoto(13) *et al* alertou para a possibilidade de *oversizing* do componente femoral na presença de curvatura anterior do fémur, na medida em que o eixo mecânico (tido em conta na cirurgia por navegação) se desvia anteriormente em relação ao eixo anatómico (seguido aquando da utilização de guia intramedular). Quando a ATJ é executada manualmente, a presença de curvatura anterior do fémur também pode levar a uma orientação flectida do componente femoral(30), enquanto que com a cirurgia de navegação pode acontecer o oposto – orientação em hiper-extensão(31).

Outcome funcional

Um estudo randomizado comparou a reabilitação pós-operatória (8 dias após a cirurgia), tendo chegado à conclusão que os pacientes submetidos a ATJ convencional têm uma recuperação mais rápida do que os submetidos a CAS, sendo a diferença estatisticamente significativa apenas nos casos em que foi utilizada uma incisão parapatelar medial.

Um artigo publicado no *Journal of Arthroplasty* em 2005, avaliou o outcome funcional 3 meses após a ATJ, não tendo verificado diferenças nos *scores* da Knee Society e WOMAC(14).

Em relação a resultados a longo-prazo, Spencer *et al* comparou o *outcome* funcional, qualidade de vida e presença de dor anterior no joelho, dois anos após a cirurgia, em pacientes submetidos quer à técnica convencional, quer a CAS, e, recorrendo a múltiplos *scores* (Knee Society, WOMAC, SF-36, Oxford e Bartlett), não encontrou diferenças significativas entre os dois grupos(3). Outro artigo avaliou o mesmo tempo de pós-operatório, mas utilizou apenas o *score* da Knee Society, tendo apresentado resultados semelhantes(17). Chegou igualmente à conclusão de que existia uma percentagem surpreendentemente alta de pacientes com dor anterior do joelho tanto no grupo de navegação (44%, 14 em 36 pacientes) como no convencional (47%, 14 em 37 pacientes)(3), não mostrando, portanto, melhor *outcome* funcional após CAS. No entanto, um estudo efectuado por Matsumoto *et al* encontrou apenas dois casos de dor anterior do joelho no grupo convencional (n=30) e um no grupo submetido a cirurgia de navegação (n=30)(17). Adicionalmente, observou melhor amplitude de movimento após colocação de prótese por navegação, embora sem significado estatístico(17).

Curvas de aprendizagem

Um estudo comparou as curvas de aprendizagem entre a cirurgia convencional e a cirurgia de navegação, efectuadas num hospital não-universitário, tendo ambos atingido um nível aceitável de rotina durante o estudo (50 ATJ) (6). Já noutro estudo, a curva de aprendizagem na ATJ por navegação foi apenas de 20 casos(10), embora este tenha sido efectuado num hospital universitário.

Custo-eficácia e taxas de revisão

O recurso à CAS está associado a custos adicionais imediatos e está intimamente relacionado com o número de cirurgias por navegação que se efectuam por ano num dado centro. Do ponto de vista económico, é necessária a utilização dos sistemas de navegação em mais de 50 ATJ por ano para tornar esta técnica favorável, existindo uma redução drástica dos custos entre os 50 e 100 procedimentos por ano(32). Utilizando o modelo económico de Markov, num centro que efectue 100 ATJ por navegação por ano, com um aumento de 14mins no tempo operatório e 10 anos de depreciação dos custos de investimento inicial, as despesas incrementais rondam os € 300-395, dependendo do sistema de navegação(32).

Além disso, para melhorar a relação custo-eficácia é necessário garantir uma diminuição das taxas de revisão protésica. Centros onde são efectuadas 250, 150 e 25 ATJ por navegação por ano, necessitam de uma redução das taxas de revisão de 2%, 2.5%, e 13%, respectivamente, durante 20 anos, para que a CAS seja custo-eficaz(33). Um estudo publicado por Novak *et al* concluiu que o custo incremental da utilização da CAS é de \$US 45,554 por cada QALY (*quality-adjusted life years*), ganho, com taxas de revisão a 15 anos onze vezes superiores aos obtidos com a cirurgia convencional (54% vs 4,7%)(34).

Através do modelo de Markov, um artigo de 2006 comparou o custo-eficácia entre as ATJ convencionais e aquelas que recorrem à navegação, utilizando o alinhamento pós-operatório como endpoint(35). Concluíram que a CAS leva a uma redução moderada de custos em 10 anos (£ 583) e a um ligeiro ganho de 0.0148 QALYs também em 10 anos(35).

Questões médico-legais

Em 2007, Warth *et al* pesquisou todas as páginas da Web relacionadas com a promoção da CAS e da MIS (no original, *minimally invasive surgery*) por ortopedistas membros da American Association of Hip and Knee Surgeons (AAHKS), tendo avaliado a informação directa (cirurgião/clínica privada) e indirecta (instituição/hospital) sobre MIS e CAS na ATJ(36). Concluíram que estas técnicas não são referidas directamente pelos membros da AAHKS, mas sim nas páginas institucionais ou hospitalares, que poderão ser associadas a estes cirurgiões(36).

Discussão

Os resultados indicam que a ATJ por navegação oferece uma melhoria significativa na orientação dos componentes protésicos em todos os planos quando comparada com a cirurgia convencional.

Apesar da maioria dos resultados serem consensuais, há um potencial viés de selecção de pacientes, já que grande parte dos estudos foram efectuados em instituições independentes ou hospitais universitários. As amostras também são pequenas, com menos de 100 pacientes em mais de 50% dos estudos. A correlação entre o melhor alinhamento com a CAS e os benefícios clínicos que daí advenham deve ser procurada, sendo necessária para uma análise definitiva do seu custo-eficácia.

Assim, terão que surgir ensaios clínicos randomizados com maiores amostras para que os benefícios a longo prazo sejam estabelecidos assim como as taxas de revisão, questão essencial para a implantação da CAS. Mais ainda, é imperativo que os centros onde a CAS é utilizada tenham grande afluência de pacientes.

Em relação ao aumento do tempo de reabilitação pós-operatória, este deve-se provavelmente à necessidade de dissecação adicional para a colocação dos *tracking arrays* femurais. No entanto, o recurso à CAS não aumenta a perda média de hemoglobina, além de reduzir significativamente o risco de eventos embólicos.

No que concerne à pressão exercida pelos pacientes para a utilização das novas técnicas cirúrgicas, este é um factor importante a ter em conta aquando da decisão da técnica cirúrgica. O não recurso à CAS pode levantar questões legais já que o cirurgião deverá utilizar a técnica actual mais precisa e fiável, oferecendo o melhor tratamento e qualidade de vida.

Conclusão

O objectivo da cirurgia por navegação é reduzir o número de *outliers* e assegurar que a diferença entre o resultado obtido e o esperado é minimizada. Esta monografia indica que há uma melhoria na orientação dos componentes protésicos e da restauração do eixo mecânico quando a CAS é usada.

Embora ainda não seja possível afirmar que um melhor alinhamento (<3°) tem um impacto directo sobre a longevidade do implante, a literatura e a experiência clínica sugerem que um alinhamento com um erro superior a 3° possui consequências deletérias. O aumento da longevidade das próteses irá diminuir a necessidade de revisão da ATJ, reduzindo consequentemente a morbi-mortalidade e os custos de saúde associados a estes

procedimentos. O valor da CAS num contexto clínico está claramente articulado com a redução de erros e das revisões que daí possam advir. Torna-se necessário demonstrar o impacto do antecipado aumento da longevidade e outros *outcomes* em estudos a médio e longo-prazo em pacientes que foram submetidos a ATJ por navegação.

Agradecimentos

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Manuel Gutierrez, pela oportunidade de realizar esta monografia, assim como pelo apoio e informação dada.

Bibliografia

1. Sikorski JM. Alignment in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*2008 September 1, 2008;90-B(9):1121-7.
2. 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 November 25, 2002;84(suppl_2):S90-8.
3. Spencer JM, Chauhan SK, Sloan K, Taylor A, *et al.* Computer navigation versus conventional total knee replacement: no difference in functional results at two years. *J Bone Joint Surg Br*2007 April 1, 2007;89-B(4):477-80.
4. Bathis H, Perlick L, Tingart M, Luring C, *et al.* Alignment in total knee arthroplasty: A comparison of Computer-Assisted Surgery with the Conventional Technique. *J Bone Joint Surg Br*2004 July 1, 2004;86-B(5):682-7.
5. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, *et al.* Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support: a prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br*2003 August 1, 2003;85-B(6):830-5.
6. Daubresse F, Vajeu C, Loquet J. Total knee arthroplasty with conventional or navigated technique: comparison of the learning curves in a community hospital. *Acta Orthop Belg*2005 December 1, 2005;71(6):710-3.
7. Pang C, Chan W, Yen C, Cheng S, *et al.* Comparison of total knee arthroplasty using computer-assisted navigation versus conventional guiding systems: a prospective study. *J Orthop Surg (Hong Kong)*2009 August 1, 2009;17(2):170-3.
8. Jenny J, Clemens U, Kohler S, Kiefer H, *et al.* Consistency of implantation of a total knee arthroplasty with a non-image-based navigation system: a case-control study of 235 cases compared with 235 conventionally implanted prostheses. *J Arthroplasty*2005 October 1, 2005;20(7):832-9.

9. Lutzner J, Krummenauer F, Wolf C, Gunther K-P, *et al.* Computer-assisted and conventional total knee replacement: a comparative, prospective, randomised study with radiological and CT evaluation. *J Bone Joint Surg Br*2008 August 1, 2008;90-B(8):1039-44.
10. Albuquerque RFM, Angelini FJ, Pécora JR, Amatuzzi MM, *et al.* Artroplastia total do joelho assistida por computador. *Acta Ortop Bras*2006;14(4).
11. Anderson K, Buehler K, Markel D. Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: comparison with conventional methods. *J Arthroplasty*2005 October 1, 2005;20(7 Suppl 3):132-8.
12. Kim Y-H, Kim J-S, Yoon S-H. Alignment and orientation of the components in total knee replacement with and without navigation support: a prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br*2007 April 1, 2007;89-B(4):471-6.
13. Matsumoto T, Tsumura N, Kurosaka M, Muratsu H, *et al.* Prosthetic alignment and sizing in computer-assisted total knee arthroplasty. *Int Orthop*2004 October 1, 2004;28(5):282-5.
14. Decking R, Markmann Y, Fuchs J, Puhl W, *et al.* Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-navigated and manual implantation. *J Arthroplasty*2005 April 1, 2005;20(3):282-8.
15. Saragaglia D, Picard F, Leitner F. An 8- to 10-year follow-up of 26 computer-assisted total knee arthroplasties. *Orthopedics*2007 October 1, 2007;30(10 Suppl):S121-3.
16. Sikorski JM, Blythe MC. Learning the vagaries of computer-assisted total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*2005 July 1, 2005;87-B(7):903-10.
17. Matsumoto T, Tsumura N, Kurosaka M, Muratsu H, *et al.* Clinical values in computer-assisted total knee arthroplasty. *Orthopedics*2006 December 1, 2006;29(12):1115-20.

18. Chauhan SK, Clark GW, Lloyd S, Scott RG, *et al.* Computer-assisted total knee replacement: A Controlled Cadaver Study using a multi-parameter quantitative CT assessment of Alignment (the Perth Protocol). *J Bone Joint Surg Br*2004 August 1, 2004;86-B(6):818-23.
19. Manzotti A, Pullen C, Confalonieri N. Computer-assisted alignment system for tibial component placement in total knee replacement: a radiological study. *Chir Organi Mov*2008 Jan;91(1):7-11.
20. Hadjicostas PT, Soucacos PN, Thielemann FW. Computer-assisted osteotomy of the lateral femoral condyle with non-constrained total knee replacement in severe valgus knees. *J Bone Joint Surg Br*2008 November 1, 2008;90-B(11):1441-5.
21. Hakki S, Coleman S, Saleh K, Bilotta VJ, *et al.* Navigational predictors in determining the necessity for collateral ligament release in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*2009 September 1, 2009;91-B(9):1178-82.
22. Kalairajah Y, Cossey AJ, Verrall GM, Ludbrook G, *et al.* Are systemic emboli reduced in computer-assisted knee surgery?: a prospective, randomised, clinical trial. *J Bone Joint Surg Br*2006 February 1, 2006;88-B(2):198-202.
23. Kalairajah Y, Simpson D, Cossey AJ, Verrall GM, *et al.* Blood loss after total knee replacement: effects of a computer-assisted surgery. *J Bone Joint Surg Br*2005 November 1, 2005;87-B(11):1480-2.
24. Luring C, Bathis H, Tingart M, Perlick L, *et al.* Computer assistance in total knee replacement - a critical assessment of current health care technology. *Comput Aided Surg*2006 March 1, 2006;11(2):77-80.
25. Kim Y. The incidence of deep vein thrombosis after cementless and cemented knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*1990 September 1, 1990;72-B(5):779-83.

26. BERMAN AT, PARMET JL, HARDING SP, ISRAELITE CL, *et al.* Emboli Observed with Use of Transesophageal Echocardiography Immediately after Tourniquet Release during Total Knee Arthroplasty with Cement. *J Bone Joint Surg Am*1998 March 1, 1998;80(3):389-96.
27. Morawa L, Manley M, Edidin A, Reilly D. Transesophageal echocardiographic monitored events during total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*1996 October 1, 1996(331):192-8.
28. Parmet J, Horrow J, Pharo G, Collins L, *et al.* The incidence of venous emboli during extramedullary guided total knee arthroplasty. *Anesth Analg*1995 October 1, 1995;81(4):757-62.
29. Church JS, Scadden JE, Gupta RR, Cokis C, *et al.* Embolic phenomena during computer-assisted and conventional total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*2007 April 1, 2007;89-B(4):481-5.
30. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, *et al.* 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.
31. Stulberg SD. How Accurate is Current TKR Instrumentation? *J Bone Joint Surg Br*2004 April 1, 2004;86-B(SUPP_1):16-d-7.
32. Cerha O, Kirschner S, Gunther K, Lutzner J. [Cost analysis for navigation in knee endoprosthesis]. *Orthopade*2009 December 1, 2009;38(12):1235-40.
33. Slover JD, Tosteson ANA, Bozic KJ, Rubash HE, *et al.* Impact of Hospital Volume on the Economic Value of Computer Navigation for Total Knee Replacement. *J Bone Joint Surg Am*2008 July 1, 2008;90(7):1492-500.
34. Novak EJ, Silverstein MD, Bozic KJ. The Cost-Effectiveness of Computer-Assisted Navigation in Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*2007 November 1, 2007;89(11):2389-97.

35. Dong H, Buxton M. Early assessment of the likely cost-effectiveness of a new technology: A Markov model with probabilistic sensitivity analysis of computer-assisted total knee replacement. *Int J Technol Assess Health Care* 2006 March 1, 2006;22(2):191-202.
36. Warth L, Callaghan J, Liu S, Klein G, *et al.* Internet promotion of minimally invasive surgery and computer-assisted orthopedic surgery in total knee arthroplasty by members of American Association Of Hip And Knee Surgeons. *J Arthroplasty* 2007 September 1, 2007;22(6 Suppl 2):13-6.