



Thèse

2013

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Arthroscopie robotisée de la hanche dans l'anatomie humaine

Kather, Jens

How to cite

KATHER, Jens. Arthroscopie robotisée de la hanche dans l'anatomie humaine. Doctoral Thesis, 2013.
doi: [10.13097/archive-ouverte/unige:26611](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:26611)

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:26611>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:26611](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:26611)

Section de *médecine Clinique*,
Département de Chirurgie
Service de chirurgie viscérale

Thèse préparée sous la direction du Professeur Philippe MOREL

**" ARTHROSCOPIE ROBOTISÉE DE LA HANCHE DANS
L'ANATOMIE HUMAINE "**

Thèse
présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en médecine
par

Jens KATHER

Originaire de Plettenberg, Allemagne

Thèse n° 10696

publié dans

Genève 2013

« Arthroscopie robotisée de la hanche dans l'anatomie humaine »

Table des matières

Introduction	2
Discussion	12
Références	14
Résumé	16
Annexe	17

« Arthroscopie robotisée de la hanche dans l'anatomie humaine »

Introduction :

L'arthroscopie est une intervention chirurgicale mini-invasive qui permet d'examiner une articulation endommagée et de la soigner éventuellement au moyen d'instruments spécialisés¹. Relativement récente, cette forme de chirurgie remonte à un peu moins d'un siècle. On a découvert des éléments établissant que Eugen Bircher, chirurgien en chef au Kantonsspital Aarau et officier militaire de haut rang, fut l'un des premiers à préconiser l'arthroscopie diagnostique, et c'est lui qui a d'ailleurs baptisé cette méthode chirurgicale « arthroscopie »². Plusieurs articles publiés entre 1921 et 1926 révèlent qu'il a réalisé quelques 60 interventions endoscopiques du genou, méthode diagnostique généralement utilisée avant la pratique d'une ménisectomie³. Malgré l'hypothèse de Bircher selon laquelle le genou serait la seule et unique articulation capable de subir un examen endoscopique, Michael S. Burman est parvenu à réaliser la première visualisation arthroscopique de l'articulation de la hanche en 1931⁴. Il compara l'anatomie visualisée par arthroscopie à l'anatomie générale dans le cadre d'une dissection ultérieure d'une vingtaine d'articulations de la hanche sur des cadavres humains. Sur la base de ces premières expériences, Burman affirma qu'il était impossible d'introduire une aiguille entre la tête fémorale et l'acétabulum. Il put toutefois visualiser le compartiment périphérique de l'articulation de la hanche, et considéra la partie du col du fémur comme site d'intérêt pour le diagnostic et l'intervention thérapeutique, conclusion non démentie à ce jour⁵. Kenji Takagai procéda en 1939 aux premières applications cliniques sur 4 articulations de hanche humaines⁶. Il put diagnostiquer 2 cas d'articulation de Charcot, 1 cas d'arthrite purulente et 1 cas d'arthrite tuberculeuse. Malgré ces premiers développements dans les méthodes de chirurgie mini-invasive de la hanche, les études de cas mentionnées dans la documentation médicale sont demeurées peu nombreuses jusqu'au début des années 1980. À cette époque, Lanny Johnson, James Glick et d'autres ont publié des articles fouillés sur leur expérience dans le domaine de l'arthroscopie de la hanche⁷. Dans les années qui ont suivi, les méthodes chirurgicales, décrites dans les moindres détails, se sont davantage normalisées, et un plus large éventail de patients ont fait l'objet d'analyses. Parmi les groupes d'influence figurent Byrd et divers collaborateurs, ainsi que le groupe de Michael Dienst en Allemagne, et d'autres chirurgiens orthopédistes⁸⁻¹¹. Une meilleure compréhension de l'anatomie de la hanche, de la physiopathologie et des choix thérapeutiques a permis à l'équipe de soins de santé de mieux diagnostiquer et soigner des affections pathologiques

de la hanche au moyen d'une technique émergente. La fréquence des arthroscopies de la hanche a grimpé en flèche ces dernières années, d'où une technique nettement perfectionnée et une meilleure compréhension de l'anatomie arthroscopique de l'articulation de la hanche^{12, 13}. Les interventions arthroscopiques de la hanche permettent de soigner avec succès les affections auparavant non dépistées ou que l'on pouvait traiter uniquement à ciel ouvert. Grâce aux progrès apportés à la technologie, l'intervention est désormais accessible et reproductible, avec néanmoins quelques restrictions techniques à son stade actuel^{14, 15}.

L'arthroscopie de la hanche peut se réaliser au sein des compartiments central et périphérique de l'articulation de la hanche. Cette différenciation joue un rôle sur le plan de l'accessibilité pendant l'arthroscopie de la hanche et en fonction des types de pathologies diagnostiquées et soignées^{5, 16, 17}. Le compartiment central est composé de la zone articulaire, notamment la cavité cotyloïde, le ligament rond, et le bourrelet cotyloïdien (ou labrum acétabulaire) et le ligament transverse qui séparent le compartiment central du compartiment périphérique. Il comporte également la zone portante de l'articulation. Le compartiment périphérique comprend la zone non-portante de l'articulation de la hanche, comme par exemple la zone de jonction tête/col du fémur. L'arthroscopie pour les affections intra-articulaires et l'endoscopie pour les pathologies périarticulaires continuent de progresser. Avec les avancées en matière de compréhension de la pathologie de la hanche et l'apparition de nouveaux concepts tels que le conflit fémoro-acétabulaire, le besoin d'un accès arthroscopique non seulement au compartiment central de la hanche, mais aussi au compartiment périphérique est devenu manifeste.

Pendant une arthroscopie de la hanche, le patient est placé sur une table orthopédique en position couchée sur le dos ou en décubitus latéral, selon les préférences du chirurgien^{18, 19}. Un appui périnéal très large bien rembourré, indispensable pour la protection du périnée contre toute pression excessive, permet de répartir les forces de traction sur une zone plus étendue. L'accès au compartiment central de l'articulation se fait obligatoirement sous traction contrôlée par radioscopie. Une distraction articulaire adéquate pour séparer la tête de la cavité d'au moins 10 mm permet un placement portal sûr. La traction est relâchée pour l'arthroscopie périphérique. Des obturateurs perforés assurent le passage d'un système canule-obturateur au-dessus d'un fil-guide. Des instruments courbés peuvent s'avérer nécessaires pour atteindre le contour de la tête fémorale. Une canule fendue facilite le passage de ces instruments. Des dispositifs thermiques aux extrémités de

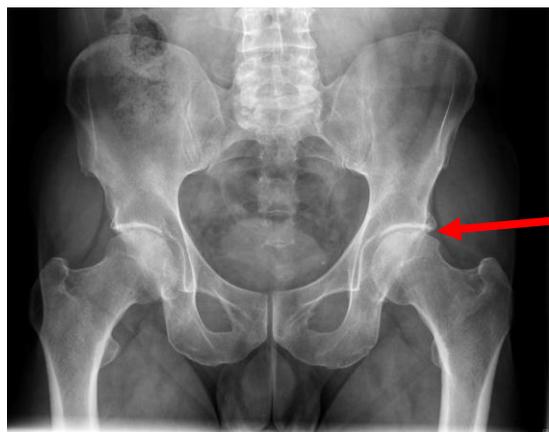
formes variées permettent l'élimination de tissus mous, la rétraction et la stabilisation du lambeau chondral, et une hémostase.

Les indications d'arthroscopie de la hanche ont émergé au cours des vingt dernières années parallèlement à la compréhension des processus pathologiques. La reconnaissance des pathologies de la hanche continue de progresser ; il n'existe donc encore aucun système de classification évident pour la gamme étendue de pathologies de la hanche. Pour l'heure, les indications d'arthroscopie de la hanche comprennent les pathologies intra-articulaires et extra-articulaires. Le tableau 1 en dresse la liste non exhaustive qui peut s'agrandir au fil des avancées techniques de l'arthroscopie de la hanche, et aussi à mesure que croît dynamiquement chaque année le nombre de cas traités partout dans le monde.

Tableau 1 : Indications courantes d'une arthroscopie et d'une endoscopie de la hanche

Intra-articulaire	Extra-articulaire
Conflit fémoro-acétabulaire	Ressaut de la bandelette de Maissiat
Lésions chondrales	Ressaut lié au muscle psoas-iliaque
Déchirures du bourrelet	Déchirure du moyen fessier
Ostéochondrite disséquante	Bursite trochantérienne
Blessures du ligament rond	
Fragments libres	
Pathologie synoviale	
Infection	

Figure 1 : Radiographie d'un patient souffrant d'un conflit fémoro-acétabulaire avant une arthroscopie de la hanche gauche



Conflit fémoro-acétabulaire de la hanche gauche

Image originale par Jens Kather

Figure 2 : Image peropératoire d'un patient subissant une résection du col du fémur par arthroscopie



Image originale par Jens Kather

Malgré le nombre croissant de ces cas soignés par arthroscopie de la hanche, l'anatomie particulière de l'articulation de la hanche engendre des problèmes techniques pendant une arthroscopie conventionnelle de la hanche. La distance entre le niveau de la peau et le site chirurgical (articulation de la hanche) est longue, d'où une amplitude de mouvements restreinte et des inconvénients sur le plan ergonomique. De plus, certains sites, tels que la face inférieure dorsale de l'articulation de la hanche, sont inaccessibles en raison de la limitation d'espace à l'intérieur de l'articulation de la hanche, de la forme ovale dans le sens de la largeur du col du fémur et de la zone de jonction tête/col du fémur. La rigidité des instruments actuels destinés à l'arthroscopie de la hanche complique l'accès aux parties qui se trouvent derrière les structures anatomiques courbes. D'autre part, la précision d'une résection osseuse est critique, et une évaluation préopératoire de la quantité idéale de résection osseuse s'avère difficile avec l'arthroscopie conventionnelle. Une surcorrection des structures osseuses suite à une résection excessive pourrait entraîner des fractures du col du fémur, tandis qu'une sous-correction pourrait provoquer un conflit constant de la hanche, le problème physique n'étant pas intégralement résolu.

L'inadaptation entre la demande du patient et les obstacles que constituent les méthodes et le matériel existants utilisés pour l'arthroscopie de la hanche a motivé la recherche de technologies de pointe dans d'autres domaines de la chirurgie mini-invasive susceptibles d'offrir de nouvelles solutions pour cette forme de chirurgie. Enthousiasmés par le domaine de la chirurgie laparoscopique, où la robotique permet de surmonter les contraintes techniques pour les indications

avancées^{20, 21}, nous nous sommes intéressés aux aspects techniques du système chirurgical da Vinci (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA).

Le système chirurgical da Vinci® (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA) est pour l'heure le système de commande d'instruments endoscopiques assisté par ordinateur le plus fréquemment utilisé en chirurgie laparoscopique. La U.S. Food and Drug Administration (FDA) a approuvé ce système pour les interventions chirurgicales urologiques, les interventions chirurgicales de laparoscopie générale, les interventions chirurgicales de laparoscopie gynécologique, les interventions chirurgicales oto-rhino-laryngologiques par voie trans-orale limitées aux tumeurs bénignes et malignes T1 et T2, les interventions chirurgicales de thoracoscopie générale, et les interventions de cardiectomie assistée par thoracoscopie. Le système est par ailleurs adapté en cas de médiastinotomie d'appoint pour réaliser une anastomose coronaire pendant une revascularisation cardiaque (à compter de juillet 2012).

La conception du da Vinci® émane d'un long processus expérimental intégrant une multitude d'idées et de technologies pour produire un système parfaitement fonctionnel. C'est au Ministère américain de la Défense (US Department of Defense) que l'on doit le financement des premiers projets de développement de la chirurgie robotique, l'objectif étant d'assurer aux soldats blessés une suite chirurgicale de première ligne commandée par des chirurgiens opérant à distance en lieu sûr. Malgré le peu de réalisme du concept à l'époque compte tenu de la technologie disponible, plusieurs prototypes se sont révélés prometteurs, et Intuitive Surgical International fut fondé en 1995 pour breveter et développer cette technologie à des fins civiles. Le but ultime de l'entreprise était de produire un système intuitif et fiable qui procurerait les avantages d'une chirurgie mini-invasive aux patients tout en préservant ceux d'une chirurgie ouverte pour les chirurgiens. L'objectif était de permettre la réalisation d'un grand nombre de chirurgies délicates (par exemple, la chirurgie cardiaque) au moyen de petites incisions, et d'obtenir de meilleurs résultats pour les interventions déjà pratiquées par le biais d'orifices. La technologie visait surtout à résoudre les problèmes d'accès par des orifices en matière de dextérité, d'intuitivité, de visualisation et d'ergonomie par le biais de progrès dans les domaines de la téléprésence et de la capture et de l'affichage stéréoscopiques.

Après l'obtention de capital-risque, les technologies nécessaires furent obtenues sous licence auprès du MIT, d'IBM et SRI International, et une équipe d'ingénieurs se mit au travail pour élaborer un

prototype. Les premiers travaux effectués avec des composants de série et sur mesure fournis par SRI ont permis de réaliser un appareil appelé 'Lenny,' utilisé lors d'essais sur des animaux pour permettre des études plus poussées. Ces essais ont clairement démontré la promesse de manipulateurs à sept degrés de liberté, ainsi que le besoin d'une plate-forme de manipulation mobile côté patient. L'itération de conception majeure suivante, baptisée 'Mona', faisait intervenir des composants amovibles stériles et permit la pratique d'essais sur l'homme en 1997. L'expérience glanée de ces essais a permis de perfectionner le concept et a donné naissance à la première génération de la plate-forme du système chirurgical 'da Vinci®' encore utilisée aujourd'hui. En décembre 1998, la première version commerciale fut livrée au Leipzig University Heart Center en Allemagne.

Le développement de nouveaux produits fut retardé en raison d'une bataille juridique avec Computer Motion Inc. (Santa Barbara, CA, USA) concernant des droits de propriété intellectuelle. En 2003, Intuitive Surgical Inc. fusionna avec Computer Motion Inc. et la production de leur système de téléprésence Zeus, produit concurrent du système chirurgical da Vinci, fut interrompue. Le perfectionnement du concept initial de da Vinci se poursuivit avec l'adjonction d'un quatrième bras manipulateur et l'expansion des familles d'instruments. Ces changements furent entièrement intégrés dans le modèle simplifié et rationalisé 'da Vinci® S', dont la préparation prend moins de temps et qui est doté de manipulateurs d'une meilleure amplitude de mouvements ; la dernière itération de produit est le 'da Vinci® Si' (sorti en 2009), qui se distingue par des améliorations au niveau des systèmes d'imagerie et de commande et sur le plan de l'ergonomie, et permet à deux chirurgiens de partager les commandes des manipulateurs (mode Double console). Les quatre manipulateurs peuvent ainsi être commandés en simultané lors d'interventions délicates, et le paradigme de formation pour la chirurgie assistée par ordinateur fait l'objet d'une amélioration considérable.

Le système chirurgical da Vinci® est conçu suivant un principe anthropomorphique ou un concept humanoïde, à savoir les capacités de mouvement du système sont censées imiter celles de l'opérateur humain (Figure 3).

Figure 3 : Instruments robotisés articulés



Image fournie par Intuitive Surgical Inc, Sunnyvale, CA, USA

Les composants mécaniques du système présentent des limitations physiques quant à la portée et l'amplitude de mouvement. Dans la mesure du possible, ces limites sont conçues pour égaler ou dépasser le fonctionnement des mains et des bras de l'homme. Par exemple, l'articulation de l'instrument EndoWrist® ne pourra plus fléchir lorsque le poignet de l'utilisateur est en flexion optimale (Figure 4).

Figure 4 : Amplitude de mouvement des instruments robotisés par rapport à la main de l'homme



Image fournie par Intuitive Surgical Inc, Sunnyvale, CA, USA

Le système est par ailleurs conçu pour assurer un alignement main-œil, c'est-à-dire que les instruments EndoWrist se déplacent par rapport à la caméra de la même façon que le chirurgien déplace ses mains par rapport à son œil. Les orientations des embouts des instruments imitent l'alignement des mains du chirurgien sur les joysticks de commande des manipulateurs (Figure 5).

Figure 5 : Les mains du chirurgien sur les joysticks commandent l'extrémité distale des instruments robotisés



Image fournie par Intuitive Surgical Inc, Sunnyvale, CA, USA

Ces deux propriétés donnent un sentiment profond de coordination œil-main et de mouvement naturel intuitif, avec l'illusion que les instruments robotisés sont aux bouts des doigts. Les instruments EndoWrist introduits dans le patient se déplacent autour d'un point fixe dans la paroi du corps, établi par un concept de pôle mécanique télécommandé. Le système peut ainsi manœuvrer les instruments et endoscopes sur et dans le site chirurgical tout en exerçant une contrainte minimale sur les parois du corps du patient.

Les différents modèles commercialisés à ce jour sont au nombre de trois : Le système standard da Vinci, première génération du système chirurgical da Vinci®, est arrivé sur le marché européen fin 1998. Ce modèle n'est plus commercialisé, mais est toujours utilisé et pris en charge par Intuitive Surgical. La génération suivante du système chirurgical da Vinci®, appelée da Vinci® S, propose un nouveau concept de bras robotisé plus mince qui facilite la préparation du chariot chirurgical et assure un meilleur accès dans l'abdomen par comparaison avec l'ancienne version. Elle comprend également un système d'imagerie HD supérieur, ainsi qu'une interface utilisateur rationalisée et autres innovations logicielles et matérielles. Le modèle le plus récent du système chirurgical, le da Vinci® Si, est sorti en avril 2009. Le da Vinci® Si présente plusieurs fonctions dynamiques, notamment le

mode Double console (possibilité de raccorder 2 consoles de chirurgien à un seul chariot de chirurgie) pour une prise en charge de la formation et de la collaboration pendant une intervention mini-invasive (pour plus de détails, consultez le chapitre sur le télémentorat et la téléformation appliquée), un système d'imagerie 3D haute définition perfectionné, une meilleure ergonomie, une interface utilisateur actualisée pour une configuration et un roulement dans le bloc opératoire rationalisés et une extensibilité pour l'intégration numérique dans la salle d'opération.

Tous les systèmes susmentionnés se composent de trois éléments principaux : la console du chirurgien, le chariot de chirurgie et le chariot d'imagerie (Figure 6).

Figure 6 : Système chirurgical da Vinci muni des 3 composants principaux



Image fournie par Intuitive Surgical Inc, Sunnyvale, CA, USA

La technologie partagée de base de tous les systèmes propose les fonctions particulières suivantes :

- Séparation physique entre le patient et le chirurgien qui opère depuis une console plutôt qu'aux côtés du patient
- Image tridimensionnelle stéréoscopique (HD pour les modèles S et Si) avec un grossissement jusqu'à 10 fois
- Action articulée des instruments robotisés offrant sept degrés de liberté (par rapport à cinq sur les instruments laparoscopiques standard), une amplitude de mouvement supérieure à celle de la main de l'homme, et une commande intuitive
- Fonctions logicielles, telles que l'élimination des tremblements et une démultiplication facultative des mouvements jusqu'à 3:1

Ces caractéristiques techniques du système chirurgical da Vinci® se sont révélées supérieures à la laparoscopie traditionnelle, notamment concernant les interventions délicates, au-delà de la faisabilité technique de la laparoscopie conventionnelle avec une vue bidimensionnelle, des instruments non articulés et autres facteurs limitatifs qui compliquent la méthode chirurgicale. Par ailleurs, la puissante interaction offerte par le système da Vinci devrait être suffisante pour travailler en toute efficacité avec les structures osseuses et pour gérer la longue distance entre le niveau de la peau et le site chirurgical. En raison des similitudes de conception élémentaires des instruments utilisés en chirurgie laparoscopique et arthroscopique, on a jugé qu'il serait possible d'utiliser le système chirurgical da Vinci pour réaliser une arthroscopie élémentaire de la hanche, et que ce système pourrait offrir de nouvelles possibilités pour cette forme de chirurgie.

Discussion :

Cette thèse de doctorat par Jens Kather présente la première arthroscopie robotisée de la hanche réalisée avec le système chirurgical da Vinci, tentée dans le but de surmonter les contraintes techniques d'une arthroscopie conventionnelle de la hanche. Ses travaux publiés démontrent les possibilités générales d'utilisation du système da Vinci Surgical pour ce type d'intervention chirurgicale et valident le bien-fondé du concept. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que l'arthroscopie robotisée de la hanche est encore à ses balbutiements. Il convient en particulier de tenir compte du fait que les instruments da Vinci étant spécifiquement conçus pour la chirurgie abdominale, ils présentent à ce jour des limitations qui restreignent leur utilisation dans le domaine des articulations de la hanche. Les nouvelles plates-formes robotiques destinées aux instruments souples semblables à celles en cours de développement pour la chirurgie transluminale par les orifices naturels (NOTES) ou pour les endoscopies avancées contribueront à faire évoluer les techniques d'arthroscopie de la hanche. Certaines parties de l'articulation actuellement hors de portée du fait de la rigidité de l'instrumentation existante deviendront accessibles. D'autres outils orthopédiques spécifiques tels que les fraises cylindriques et d'acromioplastie devront être développés en vue d'une utilisation avec une plate-forme robotique. La réduction de taille de ces plates-formes robotiques facilitera l'accès aux espaces encore plus petits tels que les articulations de l'épaule, du genou, de la cheville et du poignet, ce qui constitue une révolution dans le domaine de la chirurgie orthopédique. Outre les avantages techniques évidents que présente l'emploi d'un système robotique en arthroscopie articulaire, ce type de système est particulièrement remarquable et prometteur en ce sens où il repose sur l'information. Ils ouvrent par conséquent des possibilités infinies d'interface et d'intégration avec un grand nombre d'autres technologies actuellement employées en chirurgie ou autour de ce domaine. Ces systèmes permettront notamment la superposition de l'imagerie préopératoire ou la fusion de ces données avec la vidéo chirurgicale pour des dissections plus précises. Ces ensembles de données préopératoires permettront un jour des planifications préopératoires et la répétition préalable des interventions chirurgicales. Grâce aux progrès techniques futurs qui engendreront le développement de solutions ciblées autour de la déformation des tissus mous, on peut imaginer la possibilité d'interventions robotisées virtuellement « pré-réalisées » par le chirurgien avec l'assistance d'images préopératoires afin de déterminer la meilleure approche à adopter. Le système robotique serait ensuite capable de reproduire l'intervention préenregistrée dans des conditions réelles et ce, dans un délai bien plus court, réduisant ainsi le temps passé par le patient sous le scalpel. La robotique présente par ailleurs

un potentiel considérable dans les domaines de la chirurgie à distance et de la téléformation des chirurgiens. Il est évident que l'introduction de solutions robotiques dans la sphère de la chirurgie orthopédique constituera un facteur d'évolution considérable dans ce domaine et que concernant les possibilités futures d'application des nouvelles technologies par la robotique, l'imagination est la seule limite.

Les résultats de ces travaux ont été présentés lors du salon MIRA de 2010 à San Diego et l'article scientifique « Robotic hip arthroscopy in human anatomy » (Arthroscopie robotisée de la hanche dans l'anatomie humaine) est paru en 2010 dans la revue « The International Journal of Medical Robotics and Computer-Assisted Surgery » (facteur d'impact : 1.588). Depuis sa publication en 2010, cet article a fait l'objet de multiples mentions et a servi de base à des travaux forts similaires menés par une équipe turque dans le domaine de l'arthroscopie de l'épaule. D'autre part, Intuitive Surgical Inc. a conduit plusieurs laboratoires, à l'invitation des auteurs de ces travaux, à explorer plus en profondeur les possibilités d'accès aux articulations de la hanche au moyen de techniques robotiques et à évaluer ces possibilités dans le domaine de l'arthroscopie. Cependant, certains instruments n'étant pas encore commercialisés, toute application clinique est pour le moment exclue. Il semble qu'une application clinique sera possible dans un délai, espérons-le, relativement court, et que de nombreux patients bénéficieront des avantages de la robotique appliquée à l'arthroscopie de la hanche.

Références :

1. Boyle JR, Silva JA, Mc Millan S, Busconi BD. Mechanics of hip arthroscopy. *Clin Sports Med* 2011;30:285-92.
2. Boni T. [Knee problems from a medical history viewpoint]. *Ther Umsch* 1996;53:716-23.
3. Kieser CW, Jackson RW. Eugen Bircher (1882-1956) the first knee surgeon to use diagnostic arthroscopy. *Arthroscopy* 2003;19:771-6.
4. Burman MS. Arthroscopy or the direct visualization of joints: an experimental cadaver study. 1931. *Clin Orthop Relat Res* 2001:5-9.
5. Gedouin JE, Duperron D, Langlais F, Thomazeau H. Update to femoroacetabular impingement arthroscopic management. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96:222-7.
6. Takagi K. The classic. Arthroscope. Kenji Takagi. *J. Jap. Orthop. Assoc.*, 1939. *Clin Orthop Relat Res* 1982:6-8.
7. Johnson LL. Diagnostic and surgical arthroscopy. *Clin Symp* 1982;34:2-32.
8. Dienst M, Seil R, Godde S, Georg T, Kohn D. [Arthroscopy for diagnosis and therapy of early osteoarthritis of the hip]. *Orthopade* 1999;28:812-8.
9. Dienst M. [Hip arthroscopy]. *Unfallchirurg* 2001;104:1.
10. Byrd JW. Hip arthroscopy by the supine approach. *Instr Course Lect* 2006;55:325-36.
11. Byrd JW. Hip arthroscopy: surgical indications. *Arthroscopy* 2006;22:1260-2.
12. Byrd JW, Jones KS. Arthroscopic management of femoroacetabular impingement: minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy* 2011;27:1379-88.
13. Yu YH, Chan YS, Lee MS, Shih HN. Open and arthroscopic surgical management of primary synovial chondromatosis of the hip. *Chang Gung Med J* 2011;34:101-8.
14. Lee YK, Ha YC, Hwang DS, Koo KH. Learning curve of basic hip arthroscopy technique: CUSUM analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012.
15. Rath E, Tsvieli O, Levy O. Hip arthroscopy: an emerging technique and indications. *Isr Med Assoc J* 2012;14:170-4.
16. Dienst M, Godde S, Seil R, Hammer D, Kohn D. Hip arthroscopy without traction: In vivo anatomy of the peripheral hip joint cavity. *Arthroscopy* 2001;17:924-31.
17. Rupp R, Duggan B. Peripheral versus central compartment starting point in hip arthroscopy for femoroacetabular impingement. *Orthopedics* 2012;35:e148-53.

18. Glick JM. Hip arthroscopy by the lateral approach. *Instr Course Lect* 2006;55:317-23.
19. Byrd JW. Hip arthroscopy. The supine position. *Clin Sports Med* 2001;20:703-31.
20. Balaphas A, Hagen ME, Buchs NC, Pugin F, Volonte F, Inan I, Morel P. Robotic laparoendoscopy single site surgery: a transdisciplinary review. *Int J Med Robot* 2012.
21. Hagen ME, Inan I, Pugin F, Morel P. [The da Vinci surgical system in digestive surgery]. *Rev Med Suisse* 2007;3:1622-6.

Résumé :

Contexte

Les spécificités de la technologie robotique pourraient permettre d'explorer de nouvelles solutions pour l'arthroscopie de la hanche, soumise pour l'instant à quelques restrictions.

Méthodes

Deux arthroscopies de la hanche ont été réalisées sur des cadavres humains avec le système chirurgical da Vinci. Une caméra robotisée et des trocarts da Vinci de 5 ou 8 mm munis d'instruments ont été introduits dans l'articulation de la hanche en vue d'une manipulation.

Résultats

L'introduction de la caméra et des instruments de travail, l'arrimage du système robotique et la manipulation des instruments se sont parfaitement déroulés dans les deux cas.

Conclusions

L'arthroscopie de la hanche avec le système standard da Vinci paraît possible. Des recherches approfondies dans ce domaine semblent justifiées, compte tenu de la valeur clinique d'une telle approche.

Annexe:

Scientific Article

Int J Med Robot. 2010 Sep;6(3):301-5.

Robotic hip arthroscopy in human anatomy.

Kather J, Hagen ME, Morel P, Fasel J, Markar S, Schueler M

Robotic hip arthroscopy in human anatomy

Jens Kather^{1*}

Monika E. Hagen²

Philippe Morel²

Jean Fasel³

Sheraz Markar⁴

Michael Schueler¹

¹Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, General Hospital Muensterlingen, Switzerland

²Division of Digestive Surgery, University Hospital Geneva, Switzerland

³Division of Anatomy, University of Geneva, Switzerland

⁴General Surgery Department, University College London Hospital, London, UK

*Correspondence to: Jens Kather, Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Kantonsspital Muensterlingen, 8596 Muensterlingen, Switzerland. E-mail: jens.kather@stgag.ch

Abstract

Background Robotic technology offers technical advantages that might offer new solutions for hip arthroscopy.

Methods Two hip arthroscopies were performed in human cadavers using the da Vinci[®] surgical system. During both surgeries, a robotic camera and 5 or 8 mm da Vinci trocars with instruments were inserted into the hip joint for manipulation.

Results Introduction of cameras and working instruments, docking of the robotic system and instrument manipulation was successful in both cases. The long articulating area of 5 mm instruments limited movements inside the joint; an 8 mm instrument with a shorter area of articulation offered an improved range of motion.

Conclusions Hip arthroscopy using the da Vinci standard system appears a feasible alternative to standard arthroscopy. Instruments and method of application must be modified and improved before routine clinical application but further research in this area seems justified, considering the clinical value of such an approach. Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Ltd.

Keywords robotic; robotic surgery; hip arthroscopy; da Vinci

Introduction

The first arthroscopic visualization of the hip was made by Michael S. Burman in 1931 (1). He compared the arthroscopically visualized anatomy with the gross anatomy on subsequent dissection in 20 hip joints of human cadavers. In 1939, the first clinical application of the arthroscope in four human hip joints was performed by Kenji Takagi, who described two Charcot joints, one suppurative arthritis and one tuberculous arthritis (2).

Despite these early initial developments in minimal invasive methods for hip surgery, only a few case reports were published until the early 1980s, when Lanny Johnson, James Glick and others published in greater detail about this procedure (3,4). Following this, Byrd and others advanced the field of hip arthroscopy (5) and a large case series of hip arthroscopies was performed and published by the group of Michael Dienst in Germany and other orthopaedic surgeons (5,6).

Since then, hip arthroscopy has gained increasing significance, with growing patient numbers and expanding indications. If past and present developments are interpreted correctly, it must be assumed that hip arthroscopy will only continue to become more practised, with a few hundred thousand cases performed each year world-wide in the near future.

Accepted: 8 April 2010

During hip arthroscopy, the hip joint is divided into a central compartment and a peripheral compartment (7) (Figure 1). The central compartment consists of the articulating area, including the acetabular fossa, teres ligament and acetabular labrum and transverse ligament, which separates the central from the peripheral compartment. It also includes the weight-bearing area of the joint. These areas can only be entirely viewed under leg extension. The peripheral compartment includes the non-weight-bearing area of the hip joint, such as the femoral head and neck junction. The peripheral compartment is best treated without traction control.

Despite growing numbers of hip arthroscopy cases, the specific anatomy of the hip joint leads to technical problems during conventional hip arthroscopy. There is a long distance from skin level to the location of surgery (hip joint), resulting in a limited range of motion with poor ergonomics. Furthermore, certain locations, such as the dorso-inferior part of the hip joint, cannot be reached due to the limited space inside the hip joint and the crosswise-oval shape of the femoral neck and the femoral head–neck junction. As all current instrumentation for hip arthroscopy is rigid, this makes areas beyond curved anatomical structures difficult to reach. Additionally, precision of bone resection is critical, but pre-operative assessment of the ideal amount of bone resection is difficult with conventional arthroscopy. Overcorrection of bony structures due to excessive resection might lead to femoral neck fractures and undercorrection might result in persistent hip impingement, as the physical problem is not completely solved.

This misfit between patient demand and the hurdles of existing materials and methods for hip arthroscopy

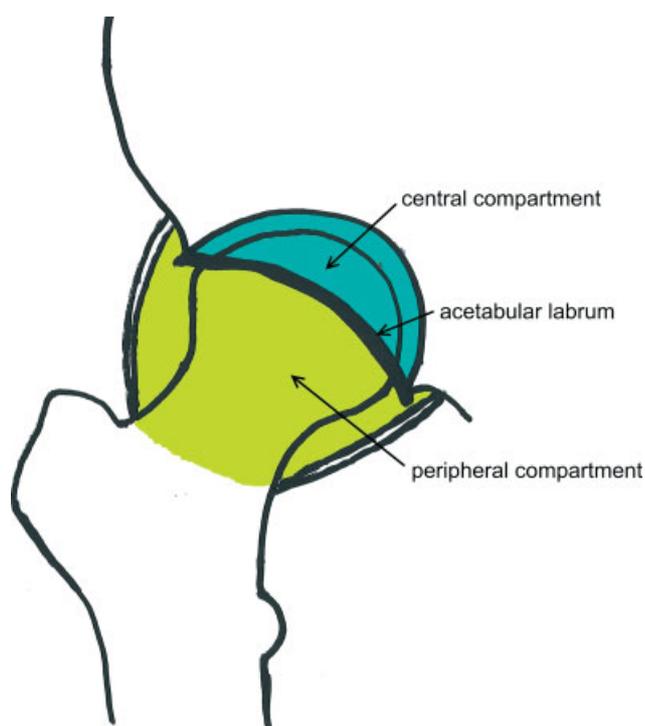


Figure 1. The two compartments of the hip joint, front view

has driven the search for advanced technologies from other fields of minimal invasive surgery that might offer new solutions for this kind of surgery. The technical specifications of the da Vinci[®] surgical system attracted interest: remote control of articulated instruments with full range of motion at the tip might enable parts of the hip joint that are inaccessible with rigid instrumentation to be reached (8,9). Also, the strong force that the da Vinci offers should be sufficient to work effectively with bony structures and to handle the long distance between skin level and the location of surgery. Due to the basic similarity of instrument design of laparoscopic and arthroscopic surgery, it was assumed that it would be feasible to use the da Vinci surgical system to perform basic hip arthroscopy, and that this system could offer new possibilities for this kind of surgery. This was the first attempt worldwide to perform hip arthroscopy with the da Vinci surgical system.

Materials and Methods

Two human cadavers (one female, one male) from people who had donated their bodies to research underwent robotic hip arthroscopy (both cadavers were fresh-frozen). No specific data of the cadavers were available. A three-armed da Vinci[®] standard surgical system (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA) was used for all experiments.

The female cadaver was operated on the right side, with no extension to the hip joint applied. A 12 mm laparoscopic trocar (Ethicon Endosurgery, Dietlikon, Switzerland) was modified to be introduced from the proximal anterolateral approach into the anterolateral part of the right femur neck in the Seldinger technique over orthopaedic hip material, including trocar, guide-wire and dilators (Storz, Tuttlingen, Germany). The da Vinci 10 mm camera was then introduced into the peripheral part of the hip joint by hand. Under arthroscopic control, a guide-wire (Storz, Tuttlingen, Germany) was introduced, using an anterior approach. A 5 mm da Vinci trocar was inserted into the hip joint over the wire. The robot was then docked, using the camera and the left robotic arm. A 5 mm robotic needle holder was mounted onto the robotic arm (Figure 2). Range of motion and accessibility of the hip joint was tested and the labrum manipulated under pure robotic control.

The male cadaver underwent left-sided hip arthroscopy. A Vacuped orthopaedic shoe (Oped, Cham, Switzerland) was mounted onto the right leg to apply extension over a self-made frame that was placed between the cadavers legs for counter-traction (Figure 3). A 8.5 mm da Vinci camera was inserted from the proximal anterolateral approach into the anterolateral part of the right femur neck in the Seldinger technique over orthopaedic hip material, including trocar, guide-wire and dilators (Storz, Tuttlingen, Germany). Two 8 mm robotic trocars



Figure 2. Robot docked with camera and left working arm in female human cadaver



Figure 3. Self-made hip extension apparatus

were introduced into the hip joint on the anterior and anteriolateral portal over guide wires in the Seldinger technique. The da Vinci surgical system was then docked, a robotic cautery hook was mounted on the left robotic arm and a robotic needle holder was inserted into the right robotic arm (Figure 3). The range of motion of both instruments and camera was tested as well as general accessibility of the hip joint. The limbus was partially resected using the hook knife and alternating robotic scissor. The anterior and anterolateral area of the femoral head–neck junction was debrided with the hook knife. The needle holder was used for assistance with the other hand (Figure 4).

After performing hip arthroscopy through the robotic ports, a 6 cm open access to the joint was placed between the muscle rectus femoris and the tensor fascia lata



Figure 4. Periphery compartment during hip arthroscopy without leg extension

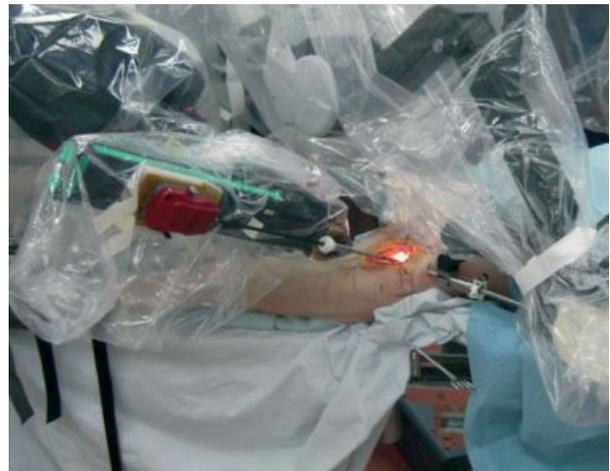


Figure 5. Open incision to control correct position of robotic access and position of instruments

muscle, in order to visualize the complete hip joint and to verify the robotic arthroscopic technique (Figure 5).

Results

Insertion of both the 10 mm and 8.5 mm camera into the hip joint was possible and all important structures, such as the femoral head and neck and the acetabular labrum, were identified. It was feasible to use the trocars that were originally designed for laparoscopic surgery in this orthopaedic setting. Da Vinci trocars, both 8 and 5 mm, could also be inserted into the hip joint over guide-wires without any complications.

Docking of the robotic system was possible using the camera and one or two working arms. Furthermore, it was feasible to bring robotic instruments inside the joint for manipulation. A good range of motion of articulation was noted. Problems that were encountered included: 5 mm instruments were slightly limited in movement, due to the long passage of articulation. However the 8 mm instrument, with its shorter articulation section, exhibited a full range of motion inside the joints. It was possible to lift and to resect the acetabular labrum with the hook knife and with the scissor and to resect the plica

synovialis medialis on the anterior part of the femoral head–neck junction.

After opening the hip joint in the second cadaver, it was confirmed that all instruments were correctly located intra-articularly on the anterior and anterolateral femoral head–neck junction and the acetabular labrum in the corresponding area. During this robotic set-up, it was not possible to reach the posterior and postero-inferior labrum and no access to the medial and posteromedial femoral head was gained. Extension of the hip joint was not sufficient to completely enter the central compartment of the hip joint in the second cadaver using the vacuped shoe.

Discussion

These two cadaveric robotic hip arthroscopies demonstrate the feasibility of this approach to hip joint surgery. Access to the hip joint was performed successfully in all attempts, using materials that were originally designed for laparoscopic and robotic surgery. In conventional hip arthroscopy, the access to the joint is performed under X-ray control. Despite the fact that it was possible to place all trocars in the correct positions, surgeons did not feel comfortable gaining access blindly. The 12 mm trocar hosting the 10 mm da Vinci camera is large in comparison to the overall size of the hip joint and should not be used in patients. In comparison, the 8.5 mm camera during the second experiment was more appropriate. In future, a 5 mm da Vinci camera would be a good size for hip arthroscopy, as this is the current size of conventional cameras used in standard arthroscopy. Unfortunately, although a 5 mm da Vinci[®] camera exists, this was not available for use during these experiments. The 5 mm robotic camera does not provide three-dimensional (3D) vision, as the larger cameras do. However, it is yet to be evaluated whether 3D vision will bring any significant advantage within the hip joint, due to the relatively simple anatomy of this joint.

The visual acuity gained within the joint from robotic arthroscopy was excellent compared to conventional arthroscopy. All relevant anatomical structures were successfully identified. Nevertheless, the surgeons could not reach the postero- and postero-inferior labrum and it was not possible to access the medial and posteromedial femoral head. This is all explained by the fact that the robotic camera is rigid, limiting the view and mobility into less available areas of the hip joint. This problem could theoretically be overcome by the use of a flexible robotic camera. New semi-flexible cameras already exist for advanced laparoscopic surgery and such technology may find more widespread applications in other fields, including orthopaedic surgery.

As described above, currently available robotic instruments were not ideal for hip arthroscopy. While the 5 mm instruments were suitable in diameter, their passage of articulation was relatively long and consumed a significant amount of space inside the joint, occasionally

resulting in a limited range of motion. 8 mm instruments were more suitable and showed better manoeuvrability inside the hip joint, but their diameter would prove a significant limitation to their use in real patients. Future instruments for robotic hip arthroscopy in patients will have to combine the critical features of both small diameter and increased flexibility.

An overall limitation to robotic arthroscopy was the restricted space inside the hip joint. In the area of the central compartment, this limitation was caused by non-existent or insufficient extension. Unfortunately, our self-made extension table was not strong enough for the cadaveric tissue and should be improved for future projects. A proper extension table would be more suitable. Additionally, the lateral compartment was deprived in this cadaveric model, due to the tightness and thickness of the cadaveric joint capsule. These problems are usually not observed in real patients. Therefore, it will be useful to explore alternative models, such as animal or inanimate material for further research. Alternatively, it might be useful to resect the tight cadaveric capsule or to perform an extended capsulotomy before robotic arthroscopy.

Besides the above-mentioned current limitations, more specific instruments are needed for robotic hip arthroscopy. A conventional set includes a barrel burr or acromionizer for bone resection and an electronic cautery stick with a much larger resection area than a conventional cautery hook, and many others, including drills and suturing devices. Before robotic arthroscopy undergoes human clinical trials, these instruments must be developed.

It is clear that robotic hip arthroscopy is at a very early stage at present. The method is feasible, but a number of modifications in technology are needed to advance robotic hip arthroscopy to clinical application. New and flexible robotic platforms similar to those that are under development for natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) will enable hip arthroscopy to be advanced and all areas of the joint to be reached that are currently not reachable with rigid instrumentation. Also, further minimization of surgical instrument size will allow us to use robotic technology in even smaller spaces, such as the shoulder, knee, ankle and wrist joints. Besides these purely technical advantages, computer-assisted surgery will have to offer significant breakthroughs with further developments, such as navigated surgery, telesurgery, virtual training and preprogramming of tasks or even entire surgeries.

Conclusion

Robotic hip arthroscopy is feasible in a cadaveric model but has some significant limitations at this time. A clinical application should be postponed until more specific instrumentation for this kind of surgery is developed. However, robotic technology has the potential to revolutionize hip arthroscopy and extend reachable

areas of the joint as well as to enable the surgeon to perform more complex and precise tasks in restricted spaces.

References

1. Burman MS. Arthroscopy or the direct visualization of joints: an experimental cadaver study, 1931. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 5–9.
2. Takagi K. The classic arthroscope. Kenji Takagi, J Jap Orthop Assoc 1939. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 6–8.
3. Johnson LL. Diagnostic and surgical arthroscopy. *Clin Symp* 1982; 34: 2–32.
4. Glick JM. Hip arthroscopy using the lateral approach. *Instr Course Lect* 1988; 37: 223–31.
5. Byrd JW. Hip arthroscopy by the supine approach. *Instr Course Lect* 2006; 55: 325–336.
6. Dienst M, Seil R, Godde S, et al. [Arthroscopy for diagnosis and therapy of early osteoarthritis of the hip]. *Orthopade* 1999; 28: 812–818.
7. Dorfmann H, Boyer T. Hip arthroscopy utilizing the supine position. *Arthroscopy* 1996; 12: 264–267.
8. Hagen ME, Inan I, Pugin F, et al. [The da Vinci surgical system in digestive surgery]. *Rev Med Suisse* 2007; 3: 1622–1626.
9. Jacobs S, Falk V. Pearls and pitfalls: lessons learned in endoscopic robotic surgery – the da Vinci experience. *Heart Surg Forum* 2001; 4: 307–310.