

T. Kalteis¹, J. Beckmann¹, T. Herold², S. Zysk³, H. Bächis¹, L. Perlick¹, J. Grifka¹

Genauigkeit eines bildfreien Navigationssystems für die Hüftpfannenimplantation – eine anatomische Studie

Accuracy of an Image-free Cup Navigation System – an Anatomical Study

¹ Orthopädische Klinik, Universität Regensburg² Institut für Röntgendiagnostik, Universität Regensburg³ Orthopädische Klinik, Ludwig-Maximilians-Universität München

Schlüsselwörter: Computer-assistierte Chirurgie, bildfreie Navigation, Hüfte, Endoprothetik, Hüfttotalendoprothese

Key words: Computer-assisted surgery – Image-free navigation – Hip arthroplasty – Hip endoprosthesis

Die Pfannenposition ist entscheidend für die Funktion einer Hüftgelenktotalendoprothese. Allerdings kann bei konventionellen Operationsverfahren eine korrekte Pfannenposition aufgrund der fehlenden Information über die Beckenstellung häufig nicht erreicht werden. Für CT-basierte und Fluoroskopie-gestützte Navigationsverfahren konnte eine signifikante Verbesserung der Implantationsgenauigkeit nachgewiesen werden. Die Akzeptanz dieser Systeme ist jedoch aufgrund der zusätzlichen Strahlenbelastung, der hohen Kosten sowie des vermehrten Zeitaufwandes gering.

In der vorliegenden anatomischen Studie wurde ein alternatives Navigationsverfahren, die bildfreie Navigation, hinsichtlich ihrer Genauigkeit untersucht. Das bildfreie Navigationssystem ist mit wenigen zusätzlichen Arbeitsschritten verbunden, führt zu keiner wesentlichen Verzögerung der Operation und benötigt keine zusätzliche Bildgebung.

An 10 Hüften humaner Leichen wurden Press-fit-Pfannen bildfrei navigiert implantiert und die Pfannenposition intraoperativ mit einem CT-basierten Navigationssystem sowie postoperativ im Becken-CT kontrolliert. Mit einer durchschnittlichen Inklination von 44° (Spanne 40-48°, SABW 2,7°) und einer Anteversion von 18° (Spanne 12-24°, SABW 4,1°) lagen alle Pfannen im Bereich der angestrebten safe zone. Die Genauigkeitsanalyse der bildfreien Navigationssoftware ergab im Vergleich zum CT-basierten Navigationssystem sowie zur postoperativen Becken-CT eine nur geringe, für den klinischen Einsatz tolerable Abweichung für die Pfanneninklination und -anteversion.

Das getestete bildfreie Navigationssystem erscheint als eine in der klinischen Routine praktikable und zuverlässige Alternative für die computerunterstützte Implantation von Hüftgelenkspfannen.

The position of the acetabular cup is of decisive importance for the function of a total hip replacement (THR). Using the conventional surgical technique, correct placement of the cup often fails due to a lack of information about pelvic tilt. With CT-based and fluoroscopically-assisted navigation procedures the accuracy of implantation has been significantly improved. However, additional radiation exposure, high cost and the increased time requirement have hampered the acceptance of these techniques. The present anatomical study evaluates the accuracy of an alternative procedure – image-free navigation. This method requires little extra effort, does not substantially delay surgery, and needs no additional imaging.

Press-fit cups were implanted in 10 human cadaveric hips with the help of the image-free navigation system, and the position of the cups was checked intraoperatively with a CT-based navigation system and postoperatively by computed tomography. All cups were implanted within the targeted safe zone with an average inclination of 44° (range 40°-48°, SABW 2.7°) and an average anteversion of 18° (range 12-24°, SABW 4.1°). Analysis of accuracy of the image-free navigation software revealed only a small, clinically tolerable deviation in cup anteversion and cup inclination in comparison with the CT-based navigation system and the post operative CT scans. The evaluated image-free navigation system appears to be a practicable and reliable alternative to the computer-assisted implantation of acetabular cups in total hip arthroplasty.

Einleitung

Lewinnek hat in klinischen und anatomischen Studien die Komplikationsraten der Hüftgelenkendoprothetik mit der Pfannenausrichtung korreliert und die sogenannte „safe zone“ der Pfannenimplantation mit einer Inklinationsstellung von $45 \pm 10^\circ$ und einer Anteversion von $15 \pm 10^\circ$ definiert [13]. Eine ungenaue Pfannenimplantation außerhalb dieser „safe zone“ schränkt den möglichen Bewegungsumfang (range of motion) des künstlichen Hüftgelenkes ein, kann durch unphysiologische Belastungen zu einem erhöhten Abrieb der Gleitflächen und zu einer vorzeitigen aseptischen Prothesenlockerung führen sowie eine erhöhte Luxationsgefahr bedingen [2, 11, 18].

Diese „safe zone“ der Pfannenposition wird jedoch bei der konventionellen Operationstechnik auch von erfahrenen Operateuren in bis zu 78% der Hüftendoprothesenimplantationen nicht erreicht [1, 5, 8]. Wesentlicher Grund hierfür ist die fehlende Information des Operateurs über die tatsächliche und intraoperativ variable Beckenlage des Patienten. Die Orientierung bei vermeintlich gerade liegenden Patienten ist intraoperativ nur indirekt möglich, der individuelle LWS-Lordosierungsgrad und die eigentliche Beckeninklination oder -reklination bleiben dabei jedoch unberücksichtigt. Für konventionelle mechanische Ausrichthilfen, die sich am Raum oder an der vom Operateur vermuteten Beckenausrichtung orientieren und intraoperativ häufig

als Implantationshilfe verwendet werden, konnten erhebliche Ungenauigkeiten aufgezeigt werden [8].

Mit der computerassistierten Navigation steht dem Operateur ein technisches Verfahren zur Verfügung, welches die intraoperativen Ungenauigkeiten bei der Endoprothesenimplantation entscheidend verringern kann. So konnten für die seit wenigen Jahren zur Verfügung stehenden CT-basierten Navigationssysteme in zahlreichen Studien bereits signifikante Vorteile gegenüber der herkömmlichen Operationstechnik nachgewiesen werden [4, 7, 10, 12]. Allerdings erfordern die CT-basierten Navigationssysteme obligat ein präoperatives Computertomogramm zur Operationsplanung und sind mit einer zusätzlichen Strahlenbelastung der Patienten, mit einem höheren prä- und intraoperativen Zeitaufwand und mit vermehrten Kosten verbunden. Aufgrund dieser Nachteile konnten sich CT-basierte Navigationssysteme bislang in der klinischen Routine nicht durchsetzen. Für die breite Anwendung eines Navigationssystems in der Hüftendoprothetik ist daher die Entwicklung und klinische Evaluation von bildfreien Navigationssystemen unumgänglich. Gegenüber bildfreien Navigationssystemen existiert jedoch eine gewisse Skepsis bezüglich der Genauigkeit bei der Bestimmung der knöchernen Landmarken, der Grundlage für die Berechnung des virtuellen Koordinatensystems und somit für eine exakte navigationsunterstützte Endoprothesenimplantation.

In der vorliegenden anatomischen Studie soll eine bildfreie Prototypensoftware der Fa. BrainLAB hinsichtlich ihrer Genauigkeit bei der Hüftpfannenimplantation überprüft und mit den Ergebnissen der CT-basierten Navigation verglichen werden.

Material und Methode

Systembeschreibung

Die Operationen wurden mit der Prototypenversion des bildfreien VectorVision Navigationssystems für die Pfannenimplantation (VectorVision ct-free hip 3.0, Fa. BrainLAB, Heimstetten, Germany) durchgeführt, die intra- und postoperative Kontrolle mit dem klinisch bereits etablierten und CE-zertifizierten CT-basierten VectorVision System (VectorVision hip 2.1 Software, Fa. BrainLAB, Heimstetten, Germany). Bei beiden handelt es sich um optoelektronische Systeme, welche über eine Infrarotkamera die Position des Beckens und des Femurs erfassen, an denen während der Operation temporäre Referenzbasen angebracht werden. Ferner werden die Arbeitsinstrumente referenziert, so dass deren räumliche Position im Verhältnis zu den Knochenstrukturen auf dem Monitor angezeigt werden kann. Die Bedienung des Systems erfolgt über einen steril abgedeckten und berührungsempfindlichen Monitor. Fußschalter oder zusätzliche Kabelverbindungen sind im Operationsbereich nicht erforderlich. Wesentlicher Unterschied zwischen beiden Systemen ist, dass bei der bildfreien Navigation die Berechnung eines virtuellen 3D-Beckenmodells alleine auf vom Operateur mit einem Referenzpointer intraoperativ ab-

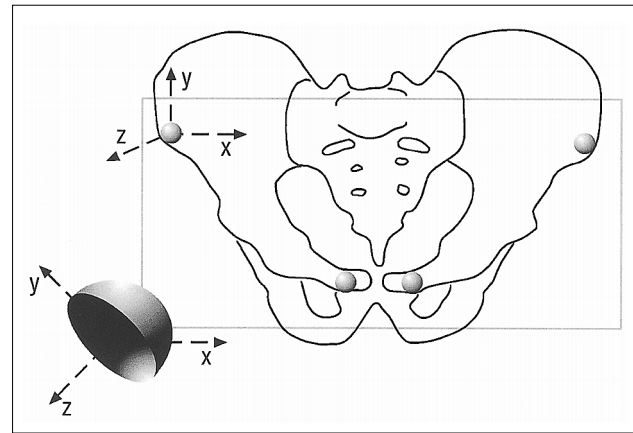


Bild 1: Schematische Darstellung des „anterior-pelvic-plane“ Konzeptes.

gegriffenen Knochenstrukturen beruht (sog. surgeon-defined anatomy), wohingegen bei der CT-basierten Navigation eine auf der präoperativen Computertomographie basierende virtuelle Planung durch das Abgreifen von definierten Knochenpunkten (sog. matching) mit der realen Anatomie in Übereinstimmung gebracht wird.

Anterior-pelvic-plane Konzept

Grundlage der computerunterstützten Pfannenimplantation ist die Reduktion der komplexen Beckenanatomie auf die anteriore Beckenebene entsprechend dem „anterior-pelvic-plane“-Konzept nach Jaramaz et al. [10] (Bild 1). Diese Bezugsebene, zu welcher die künstliche Gelenkpfanne ausgerichtet werden soll, wird durch 4 anatomische Landmarken, den Spinae iliacae anteriores superiores und den Tubercula pubica, definiert und soll sich im Stehen beim Gesunden annähernd der Frontalebene angleichen [9]. Intraoperativ kann diese Ebene bei computerunterstützten Operationsverfahren durch ein per- oder transkutanes Abgreifen der aufgeführten Knochenpunkte mit einem referenzierten Pointer bestimmt und dem Navigationssystem aufgezeigt werden. Durch die Festlegung dieser Bezugsebene wird die Pfannenpositionierung reproduzierbar und unabhängig von Patientenlagerung, Gelenkkontrakturen, LWS-Lordosierung und Beckenkipfung.

Präoperative Becken-Computertomographie

Um einen intraoperativen Vergleich der mittels bildfreier Navigation erzielten Operationsergebnisse mit der CT-basierten Software zu ermöglichen, wurden präoperativ von allen Leichen Becken-Computertomographien (Somatom Sensation 16, Fa. Siemens, Erlangen, Germany) angefertigt, mit Hilfe der Planungssoftware die anterioren Beckenebenen bestimmt und die angestrebten Pfannenpositionen geplant. Vor den Computertomographien wurden bei allen Präparaten perkutan über Stichinzisionen je eine Schraube im Bereich des rechten und linken

Genauigkeit eines bildfreien Navigationssystems



Bild 2: Abgreifen einer Punktwolke im Acetabulum mit einem referenzierten Pointer zur Bestimmung von Größe und Tiefe der knöchernen Pfanne.

Beckenkammes sowie beidseits im Tuberculum pubicum angebracht (sog. fiducial landmarks), um ein exaktes „matching“ zwischen den CT-Planungen und den humanen Präparaten zu gewährleisten.

Operationstechnik

An 10 Hüften humaner Leichenpräparate (jeweils fünf rechte und linke Hüften) wurden mit Hilfe der VectorVision ct-free hip 3.0 Software Pressfit-Pfannen (Typ Duraloc, Fa. DePuy, Johnson&Johnson) implantiert. Dabei entsprach die Operationstechnik in der anatomischen Studie dem intraoperativen Vorgehen am Patienten.

Der operative Eingriff erfolgt in Rückenlage über einen anterolateralen Standardzugang. Vor der Hüftkopfresektion wird am distalen Femur eine Referenzbasis mit einer Schanz-Schraube fixiert und kinematisch mit einem



Bild 3: Benutzerführung durch graphische und numerische Darstellung von Pfanneninklination und -anteversion sowie Pfannentiefe.

Rotationsalgorithmus das Drehzentrum des zu operierenden Hüftgelenkes ermittelt. Nach der folgenden Hüftkopfresektion und Darstellung der Hüftgelenkspfanne wird eine weitere Referenzbasis mit einer Schanz-Schraube (4 mm Durchmesser) supraacetabular am Becken fixiert. Zur Bestimmung der anterioren Beckenebene werden beide Spinae anteriores superiores sowie die Tubercula pubica mit dem referenzierten Pointer abgegriffen und digitalisiert. Um die Größe und die Tiefe des Acetabulums zu bestimmen wird nachfolgend eine Punktwolke (100 Punkte) am Pfannenrand und auf der Facies lunata der Gelenkpfanne abgegriffen (Bild 2). Nach diesen Registrierungsschritten kann von der Software ein virtuelles 3D-Beckenmodell erstellt werden.

Für die Pfannenfräsung und die Prothesenimplantation werden präkalibrierte und referenzierte Instrumente verwendet. Auf diese Weise erhält der Operateur bei der navigationsunterstützten Operation während des Auffräsens des Pfannenlagers und der Pfannenimplantation eine visualisierte Information über die Position der Instrumente und des Implantates in Echtzeit (Bild 3). Das Navigationssystem stellt unter anderem die Inklinations- und Anteversionswinkel (auf Grundlage des APP-Konzeptes) sowie die Tiefe der Pfannenfräser bzw. der Pfannenimplantate im knöchernen Acetabulum dar. Zur Dokumentation können die Daten zu jedem Operationszeitpunkt mittels eines Bildschirmbildes abgespeichert werden.

Um eine Veränderung der Pfannenposition nach der Implantation und somit eine Verfälschung der Studienergebnisse zu verhindern, wurde jedes Implantat neben der press-fit Verankerung zusätzlich mit einer Pfannendachschraube fixiert. Die vom bildfreien Navigationssystem angezeigten Daten für die Pfannenposition wurden für die spätere Auswertung dokumentiert.

Intraoperative Kontrolle mit dem CT-basierten Navigationssystem

Um die Pfannenposition mit dem CT-basierten System kontrollieren zu können, wurde nach erfolgter Pfannenimplantation das Einschlaginstrumentarium aus der fixierten Pfanne ausgeschraubt, die bildfreie Software beendet und die CT-basierte Navigationssoftware gestartet. Durch das Abgreifen der 4 am Becken fixierten Markern („fiducials“) im Rahmen des Matching war ein exakter Abgleich des CT-Datensatzes mit der Patientenanatomie gewährleistet. Anschließend wurde das präkalibrierte und referenzierte Einschlaginstrumentarium in die bereits implantierte Pfanne eingeschraubt und auf diese Weise die Pfannenposition mit dem CT-basierten Navigationssystem erfasst. Wiederum wurden die angezeigten Inklinations- und Anteversionswerte dokumentiert.

Postoperative CT-basierte Kontrolle

Postoperativ wurden von den operierten Leichen erneut Becken-Computertomographien angefertigt. Die Bilddaten wurden auf die Workstation überspielt und verblendet

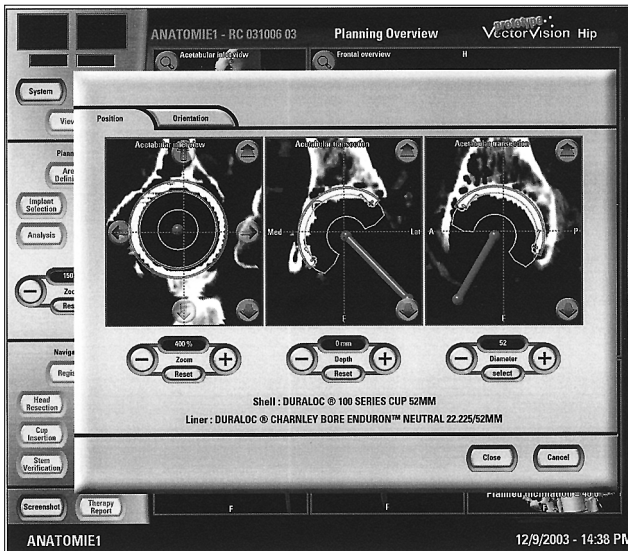


Bild 4: Postoperative Kontrolle der Pfannenposition in der Planungssoftware durch exakte Überlagerung der real implantierten und im postoperativen Becken-CT abgebildeten Pfanne mit einer virtuellen Pfanne.

mit dem CT-basierten Planungssystem analysiert. Hierfür wurden im CT-Datensatz zunächst die anteriore Beckenebenen bestimmt und anschließend virtuelle Pfannen über die in den Schichtbildern sichtbaren, real implantierten Pfannen geplant (Bild 4). Auf diese Weise konnten die Inklinations- und Anteversionswinkel der implantierten Hüftpfannen mit der Planungssoftware abgelesen und mit den intraoperativen Daten verglichen werden.

Ergebnisse

Die computerunterstützte Pfannenimplantation mit der bildfreien VectorVision ct-free hip 3.0 Software konnte an allen anatomischen Präparaten ohne technische Probleme

durchgeführt werden. Eine Lockerung oder eine Dysfunktion der Referenzbasen oder der referenzierten Instrumente konnte nicht festgestellt werden. Die knöchernen Landmarken konnten ohne Probleme und ohne zeitlichen Verzug digitalisiert werden.

Die durchschnittliche Inklination bei den zehn implantierten Hüftpfannen betrug gemäß der intraoperativen Angaben des bildfreien Navigationssystems 44° (Spanne 40-48°, SABW 2,7°), die durchschnittliche Anteversion 18° (Spanne 12-24°, SABW 4,1°). Die intraoperative Genauigkeitsanalyse des bildfreien Navigationssystems im Vergleich zur CT-basierten Software ergab eine mediane Abweichung von -1,5° (Spanne -7 - 0°, SABW 2,3°) für die Inklination und von -0,5° (Spanne -4 - +4°, SABW 2,6°) für die Anteversion. Zu der virtuellen Pfannenplanung in den postoperativen Becken-Computertomographien lag eine mediane Abweichung von -3,5° (Spanne -6 - -1°, SABW 1,8°) für die Inklination und von +1° (Spanne -4 - +3°, SABW 2,7°) für die Anteversion vor (Tabelle 1).

Keine Pfanne wurde außerhalb der „safe zone“ implantiert.

Diskussion

In Deutschland werden jährlich mehr als 150 000 Hüfttotalendprothesen implantiert, in zunehmender Zahl auch bei jüngeren Patienten. Der Gewinn an Lebensqualität für den Patienten, der durch diese Operation ermöglicht wird, ist hoch und begründet die hohe Akzeptanz, aber auch die hohe Erwartungshaltung an die endprothetische Versorgung.

Angesichts der großen Anzahl von Eingriffen gewinnen auch scheinbar seltene Komplikationen der Hüftendoprothetik, die auf eine fehlerhafte Prothesenpositionierung zurückgeführt werden, eine erhebliche Bedeutung. So ist eine Pfannenfehlpositionierung die häufigste

Tabelle 1: Kontrolle der mit dem bildfreien Navigationssystem erzielten Pfanneninklination und -anteversion mit dem CT-basierten System und der postoperativen Becken-Computertomographie

Hüfte	Meßwerte bei bildfreier Navigation		Messwerte bei CT-basierter Navigation <i>(kursiv: Abweichungen bei bildfreier Navigation)</i>				Messwerte im postoperativen Becken-CT <i>(kursiv: Abweichungen bei bildfreier Navigation)</i>			
	Inklination	Anteversion	Inklination	Anteversion	Inklination	Anteversion	Inklination	Anteversion		
Nr. 1	42	12	44	-2	16	-4	44	-2	16	-4
Nr. 2	46	15	47	-1	18	-3	47	-1	18	-3
Nr. 3	45	20	50	-5	21	-1	49	-4	19	+1
Nr. 4	44	19	51	-7	21	-2	50	-6	18	+1
Nr. 5	44	15	45	-1	13	+2	48	-4	14	+1
Nr. 6	48	24	49	-1	25	-1	49	-1	25	-1
Nr. 7	40	21	42	-1	19	+2	43	-3	18	+3
Nr. 8	45	19	49	-4	17	+2	49	-4	17	+2
Nr. 9	40	21	40	0	21	0	42	-2	18	+3
Nr. 10	41	12	45	-4	16	+4	47	-6	16	-4

Ursache von postoperativen Luxationen der Hüfttotalendoprothesen, für die eine Inzidenz von 1% bis nahezu 10% beschrieben wird [3]. Des weiteren verringert eine ungünstige Pfannenposition den Bewegungsumfang des Kunstgelenkes und kann Ursache für einen vermehrten Abrieb der Gleitpaarungen sein [2, 11]. Nur die Kombination von bewährten Endoprothesenmodellen und einer exakten Implantationstechnik gewährleistet gute Langzeitergebnisse mit einer 10 Jahres-Überlebensrate von mehr als 98% [14].

Wie bereits in zahlreichen Untersuchungen zur CT-basierten Navigation in der Hüftendoprothetik belegt werden konnte, werden durch die computerassistierte Operation eine von der Patientenlagerung unabhängige, sichere Implantatpositionierung gewährleistet und grobe Pfannenfehlimplantationen außerhalb der angestrebten Sicherheitszone vermieden [4, 7, 10, 12]. Navigationsgestützte Operationsverfahren können ferner auch in der Hüftendoprothetik sichere minimal-invasive Operationstechniken ermöglichen, die eine geringere Traumatisierung der Patienten bedingen und möglicherweise eine verbesserte Frühmobilisierung erlauben [6].

Um die bereits aufgezeigten Nachteile der CT-basierten Navigation, die Strahlenbelastung, den hohen Zeitaufwand und die zusätzlichen Kosten zu umgehen und ein in der klinischen Routine praktikables Navigationsverfahren anzubieten, werden von verschiedenen Herstellern CT-freie Navigationssysteme für die Hüftendoprothetik entwickelt bzw. bereits angeboten. Dabei wird gegenwärtig, abhängig von der Methode der Landmarken-Akquisition, zwischen *bildfreien Systemen* mit einer reinen „surgeon defined anatomy“ durch direkte perkutane Digitalisierung oberflächlich gelegener Knochenpunkte und *Fluoroskopie-gestützten (Hybrid-)Systemen* unterschieden, bei welchen die virtuelle 3D-Rekonstruktion des Beckens durch Bildwandleraufnahmen unterstützt wird.

Die *Fluoroskopie-gestützten Verfahren* erfordern die intraoperative Anwendung eines Bildwandlers. Damit verbunden ist eine intraoperative Strahlenbelastung von Patient und Operationspersonal, ferner die Notwendigkeit einer zusätzlichen sterilen Abdeckung des Röntgengerätes und eine zeitliche Verzögerung des Operationsablaufes. Diese Nachteile dürften die die Akzeptanz eines fluoroskopie-gestützten Systemes in der klinischen Routine, ähnlich wie bei CT-basierten Navigationssystemen, deutlich verringern.

Bei *bildfreien Navigationsverfahren* hingegen sind prä- und intraoperativ keine zusätzlichen Röntgenverfahren notwendig. Die in diesem Fall für die computerunterstützte Pfannenimplantation im Vergleich zur herkömmlichen Operation bedingten zusätzlichen Operationsschritte beschränken sich auf das Anbringen der Referenzbasen am Becken und am distalen Femur, dem perkutanen Abgreifen der knöchernen Landmarken zur Bestimmung der anterioren Beckenebene sowie dem Abnehmen einer Punktvolke im Acetabulum.

Voraussetzung für die klinische Anwendung von bildfreien Navigationssystemen am Patienten ist jedoch eine ausreichende Genauigkeit der „surgeon defined anatomy“. Und gerade diese wird aufgrund der interindividuell

ell stark schwankenden Weichteilsituation mit mehr oder weniger ausgeprägter Bedeckung der knöchernen Landmarken, insbesondere der Tubercula pubica, häufig in Frage gestellt und zu große Abweichungen der virtuellen Beckenrekonstruktion von der eigentlichen knöchernen Beckenanatomie kritisiert.

Die Ergebnisse der vorliegenden anatomischen Studie mit einer durchschnittlichen Inklination von 44° (Spanne $40-48^\circ$, SABW $2,7^\circ$) und einer durchschnittlichen Anteversion von 19° (Spanne $12-26^\circ$, SABW $4,4^\circ$) zeigen, dass auch mit Hilfe eines bildfreien Navigationssystems die Hüftpfannen sicher im Bereich der „safe zone“ implantiert werden können. Die Werte für Inklination und Anteversion der Hüftpfannen, für die Spanne und die Standardabweichungen entsprechen bereits publizierten Studien zu CT-basierten und fluoroskopie-gestützten Verfahren [1, 12, 19, 20]. Mit dem intraoperativen Vergleich der bildfreien zur CT-basierten Software konnte aufgezeigt werden, dass zwischen beiden Systemen lediglich eine mediane Abweichung von $-1,5^\circ$ (Spanne $-7 - 0^\circ$) bei der Inklination und von $-0,5^\circ$ (Spanne $-4 - 4^\circ$) bei der Anteversion vorliegt.

In zahlreichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die konventionelle Röntgendiagnostik kein ausreichend zuverlässiges Verfahren ist, die Anteversion und Inklination von Pfannenimplantaten zu evaluieren. In Abhängigkeit von Einstellung des Zentralstrahles, Lagerung des Patienten, Beckenkipfung und Implantatposition ergeben sich Fehlerbreiten von mehr als 10° [15, 16, 17]. Die Genauigkeitsanalyse eines Navigationssystems für die Hüftendoprothetik durch die Positionsbestimmung der real implantierten Pfanne in den postoperativen Becken-Computertomographien mit Hilfe der CT-basierten Planungssoftware ist daher gegenwärtig als Kontrollverfahren der Wahl anzusehen [1, 7]. In klinischen Studien bestehen jedoch erhebliche ethische Konflikte aufgrund der zusätzlichen studienbedingten Strahlenbelastung der Patienten.

In der vorliegenden anatomischen Untersuchung unterstreichen die in den postoperativen Becken-Computertomographien ermittelten Pfannenpositionen mit einer medianen Abweichung von $-3,5^\circ$ (Spanne -6 bis -1° , SABW $1,8^\circ$) für die Inklination und von $+1^\circ$ (Spanne -4 bis $+3^\circ$, SABW $2,7^\circ$) für die Anteversion die ausreichend hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit des getesteten computerunterstützten Operationsverfahrens.

Auf Grundlage dieser anatomischen Studie wurde eine kontrollierte, prospektive klinische Studie zur Evaluation des bildfreien Navigationssystems begonnen. Ferner wird das bildfreie Navigationssystem zur Hüftpfannenimplantation gegenwärtig durch die Entwicklung eines Modules zur bildfreien Schaftnavigation ergänzt.

Die bildfreie Navigation für die Hüftpfannenimplantation erhöht zweifellos die Genauigkeit der Implantatpositionierung im Becken und kann dabei helfen, grobe Fehlpositionierungen außerhalb der safe zone zu vermeiden. Die bildfreie Navigation ist mit wenigen zusätzlichen chirurgischen Arbeitsschritten verbunden, führt zu keiner wesentlichen zeitlichen Verzögerung der Operation und benötigt keine zusätzliche prä- oder intraoperative Bild-

gebung. Daher wird die Akzeptanz für die klinische (Routine-) Anwendung deutlich höher sein, als bei CT-basierten oder Fluoroskopie-gestützten Navigationsverfahren.

Literaturverzeichnis

- [1] Bernsmann, K., Langlotz, U., Ansari, B., Wiese, M.: Computerassistierte navigierte Platzierung von verschiedenen Pfannentypen in der Hüftendoprothetik – eine randomisierte kontrollierte Studie. *Z Orthop* 139 (2001) 512-517
- [2] Del Schutte, H., Lipman, AJ., Bannar, SM., Livermore, JT., Ilstrup, D., Morrey, BF.: Effects of acetabular abduction on cup wear rates in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 13(6) (1998) 621-626
- [3] DeWal, H., Su, E., DiCesare, PE.: Instability following total hip arthroplasty. *Am J Orthop* 32(8) (2003) 377-382
- [4] DiGioia, AM., Jaramaz, B., Blackwell, M., Simon, DA., Morgan, F., Moody, JE., Nikou, C., Colgan, BD., Aston, CA., LaBarca, RS., Kischell, E., Kanade, T.: The Otto Aufranc Award. Image guided navigation system to measure intraoperatively acetabular implant alignment. *Clin Orthop Rel Res* 355 (1998) 8-22
- [5] DiGioia, AM., Jaramaz, B., Plakseychuk, AY., Moody, JE., Nikou, C., LaBarca, RS., Levison, TJ., Picard, F.: Comparison of a mechanical acetabular alignment guide with computer placement of the socket. *J Arthroplasty* 17 (2002) 359-364
- [6] DiGioia, AM., Plakseychuk, AY., Levison, TJ., Jaramaz, B.: Mini-incision technique for total hip arthroplasty with navigation. *J Arthroplasty* 18(2) (2003) 123-128
- [7] Haaker, R., Tiedjen, K., Rubenthaler, F., Stockheim, M.: Computer-assisted navigated cup placement in primary and secondary dysplastic hips. *Z Orthop* 141(1) (2003) 105-111
- [8] Hassan, DM., Johnston, GH., Dust, WN., Watson, G., Dolovich, AT.: Accuracy of intraoperative assessment of acetabular prosthesis placement. *J Arthroplasty* 13 (1998) 80-84
- [9] Hirakawa, K., Mitsugi, N., Koshino, T., Saito, T., Hirasawa, Y., Kubo, T.: Effect of acetabular cup position and orientation in cemented total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 388 (2001) 135-142
- [10] Jaramaz, B., DiGioia, A., Blackwell, M., Nikou, C.: Computer assisted measurement of cup placement in total hip replacement. *Clin Orthop* 354 (1998) 70-81
- [11] Kennedy, JG., Rogers, WB., Soffe, KE., Sullivan, RJ., Griffen, DG., Sheehan, LJ.: Effect of acetabular component orientation on recurrent dislocation, pelvic osteolysis, polyethylen wear, and component migration. *J Arthroplasty* 13 (1998) 530-534
- [12] Leenders, T., Vandeveld, D., Mahieu, G., Nuyts, R.: Reduction in variability of acetabular cup abduction using computer-assisted surgery: a prospective and randomized study. *Comput Aided Surg* 7(2) (2002) 99-106
- [13] Lewinnek, GE., Lewis, JL., Tarr, R., Compere, CL., Zimmerman, JR.: Dislocations after total hip replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am* 60 (1978) 217-220
- [14] Malchau, H., Herberts, P., Ahnfeldt, L.: Prognosis of total hip replacement in Sweden. Follow up of 92,675 operations performed 1978-1990. *Acta Orthop Scand* 64(5) (1993) 497-506
- [15] Mian, SW., Truchly, G., Pflum, FA.: Computed tomography measurement of acetabular cup anteversion and retroversion in total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 276 (1992) 206-209
- [16] Peterson, H., Gentz, CF., Lindberg, HO., Carlsson, AS.: Radiologic evaluation of the position of the acetabular component of the total hip prosthesis. *Acta Radiol Diagn* 23 (1982) 259-263
- [17] Seradge, H., Nagle, KR., Miller, RJ.: Analysis of version in the acetabular cup. *Clin Orthop* 198 (1982) 152-157
- [18] Thomas, W., Schug, M.: Remarks on the biomechanical and clinical significance of the positioning of the acetabular cup – Proposal for a classification. *Biomed Technik* 39(9) (1994) 222-226
- [19] Wentzensen, A., Zheng, G., Vock, B., Langlotz, U., Korber, J., Nolte L.-P., Grützner, P.A.: Image-based hip navigation. *Int Orthop* 27 (Suppl1) (2003) 43-46
- [20] Zheng, G., Marx, A., Langlotz, U., Widmer, KH., Buttaro, M., Nolte, LP.: A hybrid CT-free navigation system for total hip arthroplasty. *Comput Aided Surg* 7(3) (2002) 129-145

1168

Korrespondenzanschrift:

Dr. Thomas Kalteis
 Orthopädische Universitätsklinik Regensburg
 im Bayerischen Rheuma- und Orthopädie-Zentrum
 gGmbH des BRK
 Kaiser-Karl V.-Allee 3
 D-93077 Bad Abbach
 Tel.: 09405 / 18-0
 Fax: 09405 / 18-2925
 E-Mail: thomas.kalteis@klinik.uni-regensburg.de