

U. Stöckle¹ · B. König¹ · R. Hofstetter² · L.P. Nolte² · N.P. Haas¹

¹ Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Humboldt Universität, Berlin

² Maurice E. Müller Institut für Biomechanik, Universität Bern, Schweiz

Bildwandler-gestützte Navigation

Eine experimentelle Studie zu Beckenverschraubungen

Zusammenfassung

Im Rahmen einer experimentellen Studie ist das neue Verfahren der Bildwandler gestützte Navigation für perkutane Beckenverschraubungen getestet worden. Hierfür wurde ein normaler Bildwandler benutzt und das Navigationssystem der Fa. Medivision. Zunächst sollten geeignete Projektionen für 5 standardisierte Schraubenpositionen definiert werden. Dann wurden Präzision und erforderliche Durchleuchtungszeit für insgesamt 60 Schrauben an 6 Kunststoff-Beckenmodellen evaluiert.

Für die Sakroiliakalschraube in S1, SI-Schraube in S2, vordere Pfeilerschraube, hintere Pfeilerschraube und die supraazetabuläre Iliumschraube wurden jeweils 3–4 geeignete reproduzierbare Projektionen definiert, die sich aus Kombinationen der bekannten Spezialaufnahmen Inlet/Outlet und Ala/Obturator zusammensetzen.

Unter Nutzung dieser Projektionen konnten die Schrauben mit einer durchschnittlichen Durchleuchtungszeit von 6 s gesetzt werden. 51 der Schrauben (85%) waren korrekt plziert. In 5 Fällen lagen geringere Abweichungen ohne Kortikalisdurchbruch vor, 4-mal war die Kortikalis perforiert.

Bei weiterer Verbesserung der Darstellungsqualität des Bildwandlers und einigen technischen Änderungen wird das System im klinischen Einsatz sehr hilfreich sein.

Schlüsselwörter

Computer assistierte Chirurgie · Navigation · Becken · Experimentelle Studie

Perkutane Schraubenosteosynthesen im Beckenbereich sind aufgrund der komplexen Beckengeometrie technisch anspruchsvoll. Zur Stabilisierung von Beckenring- oder Azetabulumfrakturen werden sie unter Bildwandlerkontrolle oder mittels CT-gestützter Navigation eingebracht. Das Vorgehen unter fluoroskopischer Kontrolle erfordert hierbei erhebliche Durchleuchtungszeiten, da immer nur in einer Projektion gebohrt werden kann und dann in den anderen Projektionen die Lage kontrolliert wird. Nicht selten sind mehrere Bohrungen erforderlich mit wiederholten Durchleuchtungen in unterschiedlichen Projektionen, sodass Durchleuchtungszeiten von 10 min pro Schraube resultieren können.

Bei CT-gestützter Navigation kann das „matching“ aufwendig sein, da die knöchernen Strukturen nicht freiliegen. Bei erforderlichen Repositionsmanövern ist jeweils die Aquisition eines aktuellen CT-Datensatzes erforderlich sodass entweder das CT im OP lokalisiert sein sollte oder die Operation im CT stattfindet. Dies ist mit entsprechenden logistischen Problemen verbunden.

Die neue Methode der Bildwandler gestützten Navigation bietet den Vorteil, dass ein Bildwandler im unfallchirurgischen OP schon vorhanden ist. Die Bildaquisition ist schnell in den bekannten Projektionen möglich. Auf dem Bildschirm des Navigationsrechners können maximal 4 Projektionen gleichzeitig angezeigt werden sowie Richtung und Länge des referenzierten Bohrers. Ent-

sprechend der Darstellung auf dem Monitor kann der Bohrer kontrolliert eingebracht werden.

Vor der klinischen Einführung dieser vielversprechenden Methode war es erforderlich, im Rahmen einer experimentellen Studie an Beckenmodellen zunächst geeignete Projektionen für die häufigsten perkutanen Schraubenpositionen festzulegen und dann die Präzision der navigiert eingebrachten Schrauben mittels Röntgen und CT sowie Dissektion der Kunststoffbeckenmodelle zu überprüfen.

Material und Methode

Es wurde ein herkömmlicher Röntgen-Bildverstärker der Firma Ziehm® und das C-Arm-Navigations-Modul der Firma Medivision verwendet. Optoelektronische Marker sind hierbei an den Instrumenten, der Patienten-Referenz und dem C-Arm montiert, um über eine Infrarotkamera die Position im Raum zu erfassen. Es ist möglich, bis zu 4 Bildwandlerprojektionen simultan auf einem Monitor anzuzeigen. Die Richtung und Länge eines referenzierten Bohrers wird auf die zuvor aufgenommenen C-

Dr. Ulrich Stöckle

Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,
Humboldt Universität zu Berlin, Charité,
Campus Virchow Klinikum,
Augustenburgerplatz 1, 13353 Berlin,
E-Mail: ulrich.stoeckle@charite.de

Navigation supported by image conversion. An experimented study on pelvic screw fixation

Abstract

Within an experimental trial the new method of fluoroscopy based navigation was tested for percutaneous pelvic screw fixations. A regular C-arm was used and the navigation system developed by Medivision. In a first step appropriate C-arm projections were defined for five standardized screw positions. Then precision and fluoroscopy time of 60 screws in 6 artificial pelvis were evaluated.

For the sacroiliac screw in S1, SI screw in S2, anterior column screw, posterior column screw and the supraacetabular ilium screw three to four appropriate projections were defined. These were all combinations of the known special pelvic views inlet / outlet and iliac / obturator.

Using these standardized views the average fluoroscopy time was 6 seconds per screw. 51 screws (85%) were inserted correctly. In five cases there was a slight deviation without perforating the cortex, four times the cortex was perforated.

Keywords

Computer assisted surgery · Navigation · Pelvic screw fixation

Originalien

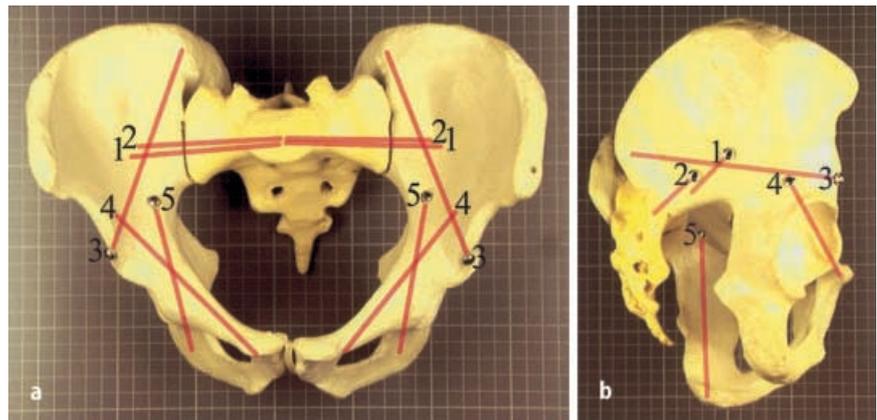


Abb. 1 ▲ Positionen der einzelnen Schrauben in der a.-p. und lateralen Projektion, 1 SI-Schraube in S1, 2 SI-Schraube in S2, 3 supraacetabuläre Iliumschraube, 4 vorderer Pfeilerschraube, 5 hinterer Pfeilerschraube

Arm-Bilder projiziert. Ohne erneutes Röntgen kann so der Bohrvorgang in allen 4 Projektionen gleichzeitig kontrolliert werden.

Im Rahmen einer 1. Versuchsreihe an Kunststoffbecken (Fa. Synthes) wurden geeignete Bildwandlerprojektionen für folgende Beckenschraubenpositionen definiert (Abb. 1, 2):

- ▶ Sakroiliakalschraube in S1,
- ▶ Sakroiliakalschraube in S2,
- ▶ supraacetabuläre Iliumschraube,
- ▶ vordere Pfeilerschraube,
- ▶ hintere Pfeilerschraube.

Die Bildwandlerdarstellungen sollten die knöchernen Begrenzungen der

Schraubenkanäle und wichtige anatomische Strukturen wie das Azetabulum darstellen. Unter Berücksichtigung bereits vorhandener Standardprojektionen sollten sie gut reproduzierbar sein.

In einer 2. Versuchsreihe wurden an 6 Kunststoffbecken (Fa. Synthes) die 5 Schraubenpositionen beidseits unter Bildwandler-gestützter Navigation entsprechend der definierten Projektionen besetzt. Hierfür wurden 7,0 mm kanülierte Schrauben verwendet. Die Präzision der 60 eingebrachten Schrauben wurde durch Röntgen, CT und Dissektion bestimmt. Die erforderliche Durchleuchtungszeit wurde dokumentiert.

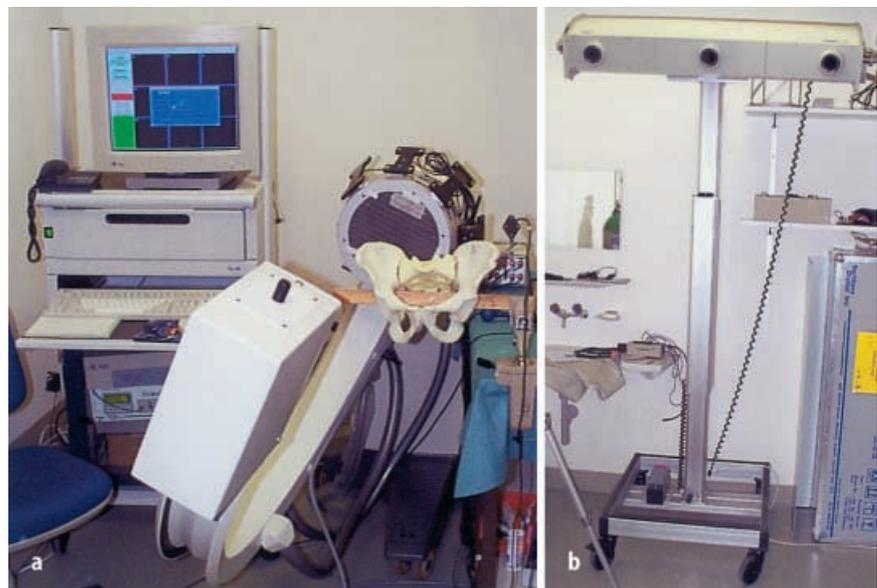


Abb. 2 ▲ Versuchsaufbau mit Bildwandler, Monitor, Infrarotkamera

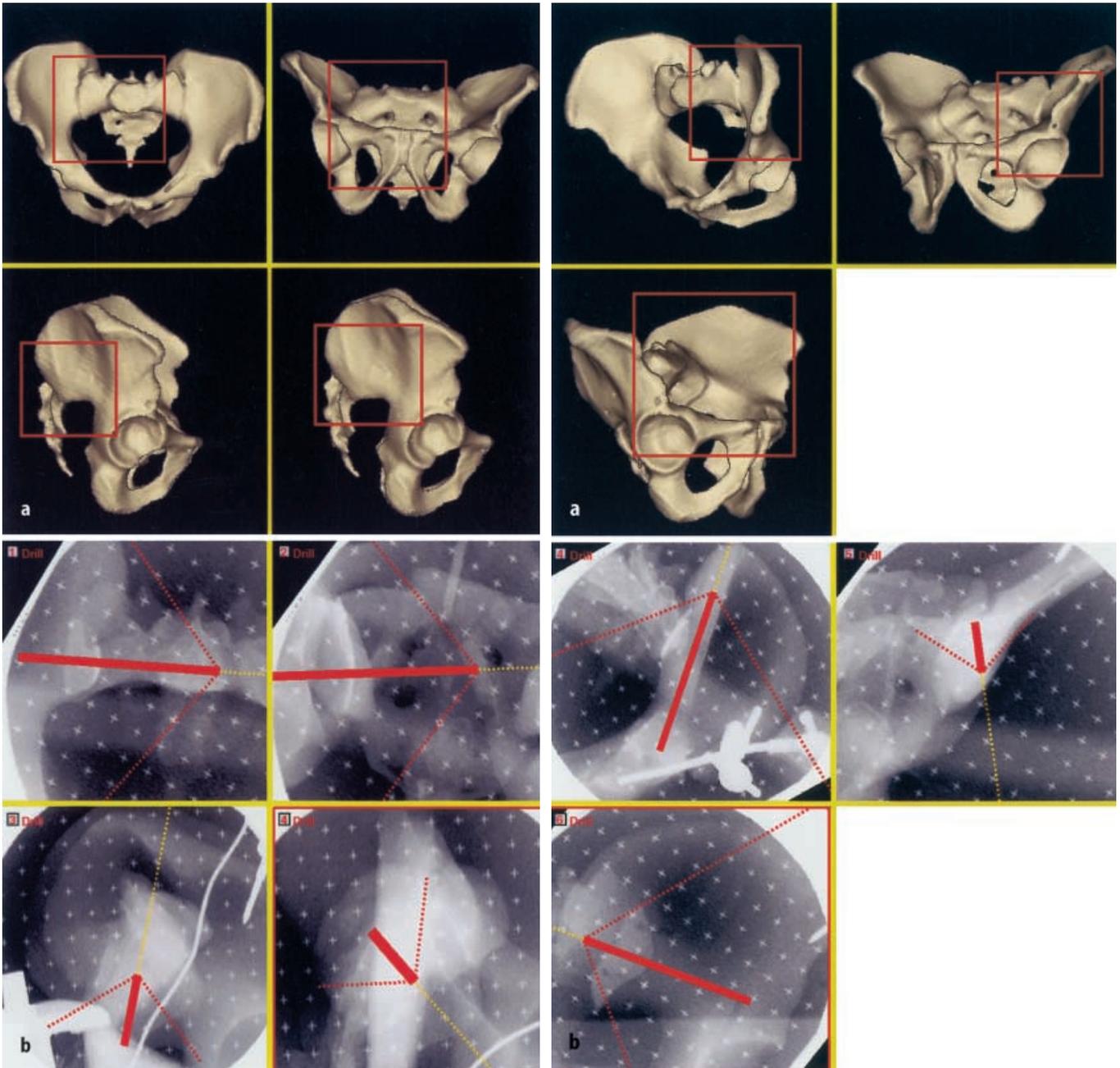


Abb.3 ▲ Monitordarstellung für SI-Schrauben

Abb.4 ▲ Monitordarstellung für supraacetabuläre Iliumschraube

Ergebnisse

Definition geeigneter Projektionen

Als geeignete Bildwandlerprojektionen für die einzelnen Schrauben wurden jeweils Kombinationen der bekannten Beckenspezialaufnahmen Inlet/Outlet und Ala/Obturator definiert.

SI-Schrauben

Neben den bekannten Inlet- und Outlet-Projektionen erwiesen sich die seit-

liche und die seitlich/20° in die a.-p. Ebene gedrehte Projektion als sehr sinnvoll. Die Inlet-Aufnahme zeigt die ventrale Begrenzung des Sakrums und die horizontale Ausrichtung des Bohrers. In der Outlet-Darstellung werden die Foramina sakralia dargestellt. Die seitliche und 20° gedrehte seitliche Projektion zeigen die Höhe des Eintrittspunktes und die Positionierung innerhalb des Sakrums. Diese Projektionen wurden sowohl für die Schrauben in S1 als auch in S2 verwandt (Abb. 3).

Supraacetabuläre Iliumschraube

In der Inlet Projektion, 30° nach ipsilateral gekippt, wird die Spina iliaca posterior superior als Zielpunkt sowie die Linea terminalis als mediale und die Facies glutae als laterale Begrenzung des Bohrkanales dargestellt (Abb. 4). Die kontralaterale Obturator-Aufnahme zeigt die Spina iliaca anterior inferior sowie die Spina iliaca posterior superior als Eintritts- bzw. Zielpunkt der Bohrung, Eine ipsilaterale Obturator-Projektion zeigt axial den

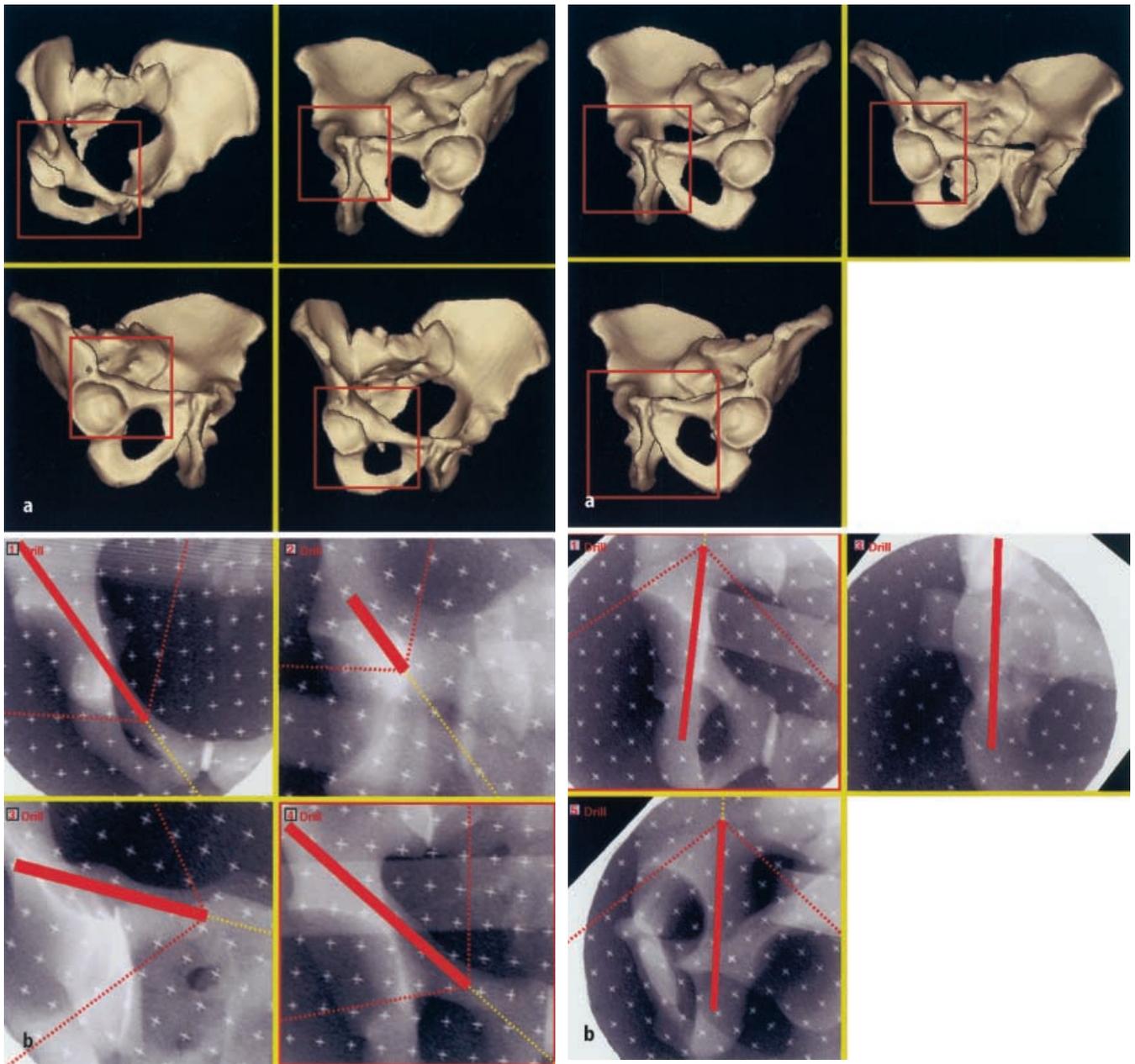


Abb. 5 ▲ Monitordarstellung für vordere Pfeilerschraube

Abb. 6 ▲ Monitordarstellung für hintere Pfeilerschraube

Bohrkanal, im Idealfall als Punkt bzw. Kreis.

Vorderer Pfeiler

Die Projektion Inlet 30° ipsilateral gekippt dient dem Einsehen der Linea ilipectinea als mediale Begrenzung. Die Obturator-Outlet-Aufnahme ipsilateral liefert die Information über die Obergrenze des Schambeinastes als kraniale Begrenzung der Bohrung. Dazu sollte die Projektion in ca. 50° Outlet gekippt werden. Die Obturator-Outlet der kontralateralen Seite zeigt den Bohrkanal

axial (bei optimaler Einstellung Darstellung des Bohrers als Punkt bzw. als Kreis). Zur sicheren Abgrenzung des Bohrkanales zum Azetabulum dient die ipsilaterale Obturator-Aufnahme, in der das Azetabulum als anterolaterale Begrenzung zum Bohrkanal einsehbar ist (Abb. 5).

Hinterer Pfeiler

Die Obturator-Outlet-Projektion ipsilateral zeigt die dorsolaterale Begrenzung des Bohrkanales und sollte so eingestellt werden, dass die Spina

ischidica gerade hinter der dorsolateralen Wand verschwindet. Sie verhindert das Durchbrechen der dorsolateralen Wand des Os ischii proximal des Tuber. Die Obturator-Outlet-Projektion von kontralateral zeigt die Abgrenzung des Bohrkanales nach ventral zum Azetabulum und nach dorsal zur Inzisura ischidica major und minus. Die Projektion Outlet 20° nach kontralateral gekippt zeigt die Innenkortikalis des kleinen Beckens (quadrilaterale Fläche) als linienförmig zur medialen Begrenzung des Bohrkanales (Abb. 6).

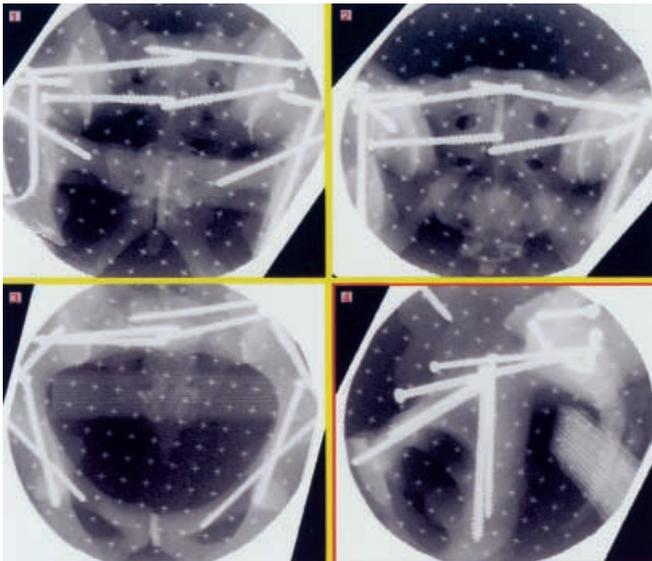


Abb. 7 ▲ Röntgenkontrolle nach Besetzung aller Schrauben, Röntgenkontrolle in a.-p., Inlet, Outlet sowie Obturator zeigt die korrekte Positionierung der eingebrachten Schrauben

Präzision der eingebrachten Schrauben

Alle 60 Schrauben wurden entsprechend der definierten Monitorarstellungen eingebracht. Die durchschnittliche Durchleuchtungszeit betrug 6 s pro Schraube.

51 der 60 Schrauben (85%) waren korrekt eingebracht. Sie entsprachen im Röntgen der Monitorarstellung, wiesen im CT und in der Dissektion keine Kortikalisverletzungen oder -perforationen auf (Abb. 7, 8, 9). In 5 Fällen (2 SI- und 3 vordere Pfeilerschrauben) wurden Abweichungen von der Monitorarstellung registriert, bei jedoch immer noch akzeptabler Schraubenlage ohne Gelenk- oder Kortikalisperforation.

Bei 2 SI-Schrauben musste eine Fehllage konstatiert werden mit Kortikalisdurchbruch bzw. intraforaminaler Lage der Schraubenspitze. Auch 2 vordere Pfeilerschrauben waren fehlplaziert, eine mit kranialer Perforation des

Schambeines, eine mit intraartikulärer Lage von 2 Gewindegängen.

Diskussion

Die häufigste Anwendung von perkutane Schraubenosteosynthesen im Beckenbereich stellen Verschraubungen des SI-Gelenkes bei wenig dislozierten Sakrumfrakturen oder SI-Gelenksprengungen, die geschlossen reponiert werden können, dar [1, 7, 8, 9]. Aber auch bei Azetabulumfrakturen werden bei geeigneter Frakturform und möglicher geschlossener Reposition zunehmend perkutane Schraubenosteosynthesen durchgeführt [2, 6, 10]. Aufgrund der komplexen Beckengeometrie sind sie technisch anspruchsvoll. Bisher werden vornehmlich kanülierte Schrauben unter Bildwandlerkontrolle eingebracht. Da die erforderlichen Bildwandler-Projektionen nur separat kontrolliert werden können, ist nicht selten ein mehrfaches Korrigieren des Führungsdrahtes bis zur

gewünschten Positionierung erforderlich. Durchleuchtungszeiten von bis zu 10 min pro Schraube können hierbei resultieren [10].

CT-kontrollierte Verschraubungen erlauben bei entsprechender Qualität des CT speziell mittels CT-gestützter Navigation das Einbringen der Schrauben mit hoher Präzision [1, 2, 5]. Bei erforderlichen Repositionsmanövern muss jedoch nach jeder Reposition ein neuer Datensatz aquiriert werden, sodass entweder ein CT im OP vorhanden sein sollte oder die Operation im CT stattfindet. Dies ist nicht selten mit logistischen Problemen verbunden.

Die Bildwandler-gestützte Navigation ist ein neues Verfahren, bei dem Bildwandler, Patient und die verwendeten Instrumente mit optoelektronischen Markern referenziert werden und über Infrarotkameras die jeweilige Position im Raum erfasst wird [3, 4]. Es hat den Vorteil, dass ein Bildwandler bereits im unfallchirurgischen OP vorhanden ist und häufig genutzt wird. Bei der Bildwandler-gestützten Navigation werden die erforderlichen Bildwandlerprojektionen, die sonst mehrfach separat eingestellt werden, nur einmal zu Beginn der Intervention aufgenommen, um dann gleichzeitig auf dem Navigationsmonitor dargestellt zu werden. Dies setzt voraus, dass für jede Schraubenpositionierung die geeigneten Bildwandlerprojektionen genau definiert sind, um eine korrekte Positionierung der Schraube zu ermöglichen.

In der vorliegenden Studie wurden geeignete Projektionen für 5 bekannte Schraubenpositionen im Beckenbereich definiert. Unter Einhaltung dieser Projektionen war eine Reduktion der Durchleuchtungszeit auf 6 s pro Schraube möglich. Diese extrem geringe Zeit ist sicherlich nur im Rahmen einer experimentellen Studie an einem Beckenmodell ohne Weichteile möglich. Sie ist aber

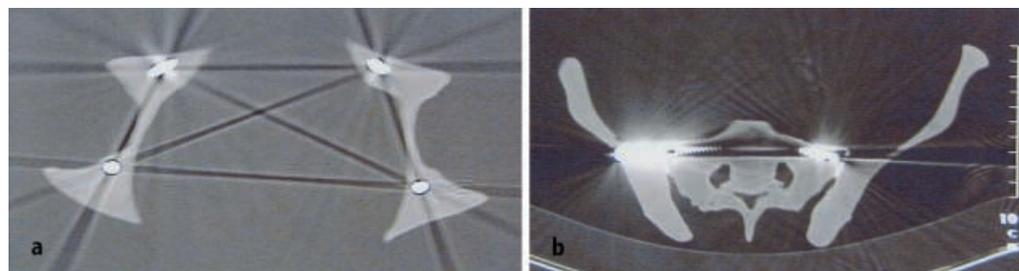


Abb. 8 ► CT Kontrolle: gute Positionierung der Schrauben für vorderen Pfeiler, hinteren Pfeiler und SI

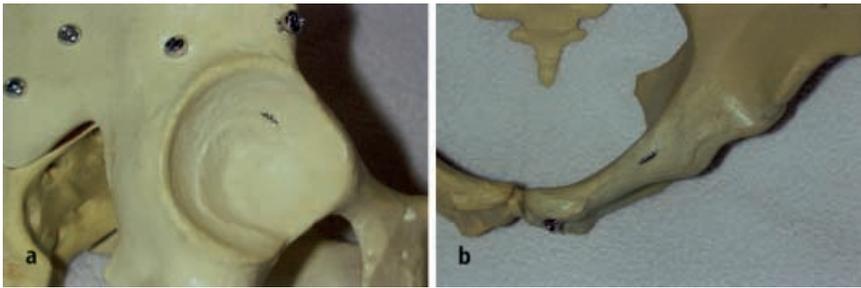


Abb. 9 ▲ Fehlplazierte vordere Pfeilerschrauben mit intraartikulärer Lage bzw. Kortikalisperforation

richtungsweisend für den klinischen Einsatz.

Das Modell der Beckenverschraubung wurde gewählt, da zur korrekten Positionierung der Schrauben eine Kontrolle in mehreren Ebenen erforderlich ist. Bei hoher Präzision des Navigationssystems in dieser anspruchsvollen Anwendung sollte der Einsatz bei vielen anderen unfallchirurgischen Fragestellungen wie Gelenkfrakturen, Pedikelschrauben etc. auch möglich sein.

Innerhalb dieser experimentellen Studie war eine korrekte Platzierung der Schrauben in 85% der Fälle möglich. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen der konventionellen Technik unter Bildwandlerkontrolle. Die Fehlplatzierungen waren in 5 Fällen geringere Abweichungen ohne Kortikalisdurchbruch, in 4 Fällen mit Kortikalisdurchbruch. Die Gründe für die Abweichungen von der geplanten Position lagen zum einen in der ungenügenden Bildwandlerdarstellung und zum anderen in technischen Fehlern.

Die gute Qualität der Bildwandlerdarstellung in den definierten Projektionen ist unabdingbare Voraussetzung für ein sicheres und präzises Einbringen des Führungsdrahtes. Bei 6 der 9 Fehlplatzierungen war die Visualisierung durch bereits eingebrachte Schrauben eingeschränkt, bzw. ist die Darstellung fehlinterpretiert worden. Das Einbringen von 10 perkutanen Schrauben in ein Becken ist sicherlich eine Extremsituation, die im klinischen Alltag eher selten vor-

kommt. Dennoch ist eine weitere Verbesserung der Bildwandlerqualität erforderlich, da 2–3 perkutane Schrauben durchaus realistisch sind.

Technisch bedingte Fehlplatzierungen sind vornehmlich auf Abweichungen des Führungsdrahtes von der geplanten Positionierung zurück zu führen gewesen. Dies ist für den Führungsdraht der 7,0 mm Schraube auch aus dem klinischen Alltag bekannt. In Anschlussversuchen wurde deshalb auf die kanülierte 7,3 mm Schraube mit einem wesentlich steiferen Führungsdraht gewechselt. Bei kleineren kanülierten Schrauben (3,5 mm, 4,5 mm) sollte die Technik dahingehend geändert werden, dass zunächst der kanülierte Bohrer unter Navigation eingebracht wird und dann der Führungsdraht, über den die Schraube eingedreht wird. Auf diese Weise lassen sich die Abweichungen deutlich reduzieren und die Präzision der Methode erhöhen.

Insgesamt sind die Ergebnisse der Bildwandler-gestützten Navigation bei der technisch anspruchsvollen Anwendung der perkutanen Beckenverschraubung vielversprechend. Bei bemerkenswerten niedriger Durchleuchtungszeit konnte eine hohe Präzision der eingebrachten Schrauben erreicht werden. Mit weiteren Verbesserungen der Bildwandlerqualität und den erwähnten technischen Änderungen sollte eine weitere Verbesserung der Präzision möglich sein. Dann wird das Verfahren der Bildwandler-gestützten Navigation nicht nur für Beckenverschraubungen sondern für den klinischen Einsatz in der gesamten Unfallchirurgie sehr hilfreich sein.

Literatur

1. Ebrahim NA et al. (1994) Percutaneous computed tomography-guided stabilization of posterior pelvic fractures. *Clin Orthop* 307: 222–228
2. Gay SB et al. (1992) Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with CT-guidance: preliminary results of a new technique. *Am J Roentgenol* 158: 819–822
3. Hamadeh A et al. (1999) Automated 3-dimensional computed tomographic and fluoroscopic image registration. *Comput Aided Surg* 4: 65–76
4. Hofstetter R, Slomczykowski M, Sati M, Nolte P (1999) Fluoroscopy as an imaging means for computed assisted surgical navigation. *Comput Aided Surg* 4: 65–76
5. Jacob AL et al. (1997) Posterior pelvic ring fractures: closed reduction and percutaneous CT-guided sacroiliac screw fixation. *Cardiovasc Intervent Radiol* 20: 285–294
6. Parker PJ et al. (1997) Percutaneous fluoroscopic screw fixation of acetabular fractures. *Injury* 28: 597–600
7. Routt ML et al. (1995) Early results of percutaneous iliac screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma* 9: 207–214
8. Routt ML, Simonian PT (1996) Closed reduction and percutaneous skeletal fixation of sacral fractures. *Clin Orthop* 329: 121–128
9. Shuler TE et al. (1995) Percutaneous iliac screw fixation; early treatment for unstable posterior pelvic ring disruptions. *J Trauma* 38: 453–458
10. Starr AJ et al. (1998) Percutaneous fixation of the columns of the acetabulum: a new technique. *J Orthop Trauma* 12: 51–58