

Redaktion

P. Grützner, Ludwigshafen
 F. Gebhard, Ulm



Hintergrund

Verletzungen des Beckenrings sind häufig Folge eines hochenergetischen Traumas und gewöhnlich mit Begleitverletzungen assoziiert [1–3]. Zudem nimmt die Zahl an niedrigerenergetischen Beckenfrakturen im hohen Alter zu [4].

Obwohl es sich in beiden Fällen um epidemiologisch unterschiedliche Populationen handelt, besteht eine vergleichbare Sterberate mit Blutung als Haupttodesursache [3].

Die Behandlung von Beckenfrakturen hat sich im vergangenen Jahrzehnt rasch weiterentwickelt. CT-Aufnahmen werden routinemäßig zur Diagnostik nach Trauma eingesetzt und erleichtern die Charakterisierung von Beckenverletzungen.

Die Fortschritte der prä- und intraoperativen Bildgebung ermöglichen eine einfachere Planung und Durchführung perkutaner Fixierungen, was zu sichereren und reproduzierbareren Ergebnissen führt.

Die größten Vorteile der perkutanen Fixierung sind die reduzierte Zugangsmorbidität, die reduzierte Blutung und die hierdurch beschleunigte Genesung der Patienten.

Ziel dieses Reviews ist eine Zusammenfassung der verschiedenen Möglichkeiten zur perkutanen internen Versorgung von Beckenringverletzungen.

A. J. Stevenson¹ · B. Swartman² · A. T. Bucknill^{1,3}

¹ Pelvic Reconstruction and Trauma Fellow, Royal Melbourne Hospital, Victoria, Australia

² Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Ludwigshafen, Ludwigshafen, Deutschland

³ Head of Orthopaedic Surgery, The University of Melbourne, Royal Melbourne Hospital, Victoria, Australia

Perkutane interne Fixation bei Beckenfrakturen

Klassifikation

Tile [5] klassifizierte Beckenfrakturen anhand der Stabilität (■ Tab. 1). Young und Burgess [6] entwickelten eine auf dem Mechanismus basierende Klassifikation (■ Tab. 2).

Indikation zur Fixierung

Die primäre Indikation für Fixierung des Beckens ist die Instabilität des Beckenrings. Dennoch sollten auch andere Indikationen in Erwägung gezogen werden (■ Tab. 3). Die späte Fixierung von Beckenfrakturen sowie von Pseudarthrosen ist anspruchsvoll und resultiert häufig in schlechten Ergebnissen [7].

Perkutane Fixierungstechniken

Die perkutane Fixierung des Beckens kann in die vordere und hintere Fixierung unterteilt werden. In Tile-B-Frakturen muss nur der vordere Beckenring fixiert werden, um bei APC-Verletzungen (anteroposteriore Kompression) das „Buch zu schließen“, bzw. LC-Verletzungen (laterale Kompression) zu derotieren und zu reponieren [5]. In einer Studie wurde beschrieben, dass bei Tile-B-Frakturen allein die hintere Fixierung suffizient sein könne, um Rotationsstabilität zu erreichen [8], wobei dies kritisch hinterfragt werden muss. Bei Tile-C-Verletzungen sind die vordere und hintere Fixierung erforderlich, um vertikale und Rotationselemente zu kontrollieren.

Die perkutane Fixierung soll nur dann erfolgen, wenn eine geschlossene Reposition des Beckens erreicht werden kann.

Die Reposition jedes Teils des Beckens ist essenziell, bevor mit der Fixierung begonnen werden kann, da eine unvollständige Reposition des vorderen oder hinteren Beckenrings die Reposition des jeweils anderen verhindert. Es sollte beachtet werden, dass nicht alle Beckenringverletzungen zur perkutanen Fixierung geeignet sind.

Perkutane Fixierung des vorderen Pfeilers

Techniken zur perkutanen Fixierung des vorderen Pfeilers (VP) sind:

- Vorderer-Pfeiler-Schrauben [9–12],
- subkutaner überkreuzender Fixateur (INFIX [13–16]),
- subkutane Plattenosteosynthese [15, 17] sowie
- perkutane Fixierung der Symphyse [18].

Vorderer-Pfeiler-Schrauben

Diese Technik wurde erstmals vor über 20 Jahren beschrieben [19]. Anatomische Studien [11, 12, 20–24] und klinische Studien [9, 10, 25–27] wurden veröffentlicht. Die Vorderer-Pfeiler-Schraube gewährleistet eine vergleichbare Stabilität des vorderen Beckens wie die Verplattung des oberen Schambeinastes [28].

Die retrograde Vorderer-Pfeiler-Schraube (RACS [9, 10, 28, 29]) wird häufiger verwendet als die antegrade Methode [30].

RACS werden vom anteromedialen Anteil des oberen Schambeinastes durch den oberen Schambeinast geführt, um oberhalb des Azetabulums zum Liegen zu kommen. Kürzere Schrauben erziel-

Tab. 1 Klassifikation der Beckenfrakturen nach Tile [5]

Typ A: Stabil (hinterer Beckenring intakt)	A1 – Avulsionsverletzung
	A2 – Beckenschaukel- oder anteriore Fraktur
	A3 – Transversale sakrokokzygeale Fraktur
Typ B: Rotationsinstabil (partielle Ruptur des hinteren Beckenrings)	B1 – Außenrotation, „Open-book-Fraktur“. Rotationspunkt ist der posteriore iliosakrale Komplex. Durchtrennung des vorderen Beckenrings in Symphyse oder Scham-/Sitzbeinästen
	B2 – Innenrotation/laterale Kompressionsverletzung mit einer Kombination aus anterioren und posterioren Frakturen
	B3 – Bilaterale Rotationsinstabilität
Typ C: Rotations- und vertikal instabil (komplette Ruptur des hinteren Beckenrings)	C1 – Unilateral instabil
	C2 – Bilateral instabil (eine Seite Typ B, eine Seite Typ C)
	C3 – Bilateral instabil

Tab. 2 Klassifikation der Beckenfrakturen nach Young und Burgess [6]

Anteroposteriore Kompressionsfrakturen (APC)	APC I – Diastase der Symphyse <2,5 cm. Keine posteriore Instabilität
	APC II – Diastase der Symphyse >2,5 cm und anteriore iliosakrale Aufweitung. Verletzung des anterioren iliosakralen Komplexes, posteriore iliosakrale Bänder intakt
	APC III – Komplette Sprengung des Iliosakralgelenkes
Laterale Kompressionsfrakturen (LC)	LC I – Sakrale Kompression auf der Seite des Traumas
	LC II – (In die Beckenschaukel) aufsteigende Fraktur auf der Seite des Traumas
	LC-III-, LC-I- oder LC-II-Verletzung auf der Seite des Traumas; kontralaterale „Open-book(APC)-Verletzung“
Vertikale Scherfrakturen (VS)	VS – Vertikale Dislokation anterior im Bereich der Symphyse oder posterior im Bereich des Iliosakralgelenks, der Beckenschaukel oder des Sakrums
Kombinierte Verletzungsmechanismen (CMI)	CMI, Kombination von Verletzungsmustern. Normalerweise LC/VS

Tab. 3 Indikationen für die Fixierung von Beckenfrakturen

Beckenringinstabilität
Grobe Dislokation der Fraktur
Offene Fraktur
Persistierende Schmerzen (immobilisierend)
Vorbeugung der Pseudarthrose
Behandlung der Pseudarthrose/verzögerten Frakturheilung

ten im Leichenmodell eine vergleichbare Festigkeit wie die längeren (80 × 4,5 mm vs. 130 × 4,5 mm [28]).

RACS können mithilfe der 2-D-Durchleuchtung platziert [10, 25] oder bildverstärkergestützt computernavigiert werden [9, 23].

Studien untersuchten den „sicheren Korridor“ für diese Schrauben unter Berücksichtigung anatomischer Unter-

schiede zwischen Männern und Frauen [11, 22]. In einer wurde gezeigt, dass der mittlere maximale Durchmesser des VP 6,4 mm beträgt; die Autoren raten von einer Verwendung größerer Implantate ab [31]. In einer 3-D-CT-Studie mit 260 Becken definierten die Autoren die Eintrittsstelle für die Schraube lateral des Tuberculum pubis auf Höhe der superiormedialen Margo des Foramen obturatorium bei Männern und eine signifikant weiter lateral gelegene Stelle, nahe der kranialen Margo des oberen Schambeinastes bei Frauen [11]. In einer weiteren 3-D-Studie wurde gezeigt, dass Frauen einen signifikant engeren Korridor aufweisen als Männer. Zusammenfassend könnten 6,5-mm-Schrauben sicher bei allen Männern, jedoch nur bei 80 % der Frauen verwendet werden [12].

Das originale klinische Kollektiv von RACS einer weiteren Studie ist eine heterogene Gruppe von 26 Patienten (Alter 6 bis 78 Jahre [10]). In dieser Studie wurden ein oszillierender 2,5-mm-Bohrer und 3,5- bzw. 4,5-mm-Schrauben unter 2-D-Durchleuchtung eingesetzt. Drei Patienten erhielten RACS sowie eine symphy-säre Plattenosteosynthese. Im Follow-up (mindestens 6 Monate) zeigten sich keine Schraubenbrüche, keine Pseudarthrosen, keine verzögerten Frakturheilungen und keine Infektionen. In 2 Fällen wanderten die Schrauben außerhalb des Knochens (im postoperativen CT erkannt), hiermit assoziierte Komplikationen wurden jedoch nicht verzeichnet.

In einer weiteren klinischen Studie mit 6 Patienten konnten keine operativen Komplikationen aufgrund von RACS bei signifikanter Schmerzreduktion nachgewiesen werden [25]. In einer Studie mit 26 Patienten, denen durch computeras-sistierte Chirurgie navigierte RACS im-plantiert wurden, zeigten sich keine korti-kalen Perforationen bei Verwendung von 6,5-mm-Schrauben mit Teilgewinde [9]. In einer weiteren klinischen Studie wurde der kleinstmögliche Durchmesser für RACS mit 5,9 ± 1,6 mm beschrieben [32].

Technik der Autoren

Der Patient wird in Rückenlage auf einem strahlendurchlässigen Tisch gela-gert, ein Harnblasenkatheter wird gelegt. Eine intravenöse Antibiose wird verab-reicht. Das Becken wird abgewaschen und steril abgedeckt, Nabel, Mons pu-bis/Penisbasis, ASIS (Spina iliaca anteri-or superior) und Beckenkämme bleiben zugänglich.

Der Bildverstärker (BV) wird auf der Seite der zu platzierenden Schraube aufgebaut und steril bezogen (Abb. 1). Anhand von Inlet(Inlet-Ala)- und Out-let(Outlet-Obturator)-Projektionen (Abb. 2) werden Eintrittspunkt und -winkel eines 430 × 2,8 mm-Führungs-drahts mit der Bohrspitze ermittelt. Die Schnittführung verläuft über dem kontralateralen Schambeinast und es erfolgt eine stumpfe Präparation auf den Knochen. Eine Bohrhülse dient dem Weichteilschutz sowie als Führungshilfe für den Draht. Gebohrt wird oszillie-

rend, um ein mögliches Aufwickeln von Weichteilen zu vermeiden. Der Führungsdraht wird unter regulärer 2-D-Bildgebung vorgebohrt, wobei zwischen den beiden Projektionen gewechselt wird.

Falls die Fraktur nicht komplett repointiert ist oder der Führungsdraht besser geführt werden muss, wird ein 4,5-mm-kanülierter Bohrer über den einliegenden Führungsdraht bis zur Fraktur vorgebohrt (Abb. 3). Die Maschine wird vom Bohrer getrennt und der Führungsdraht nun unter Zuhilfenahme des kanülierten Bohrers unter Reposition über die Fraktur hinaus platziert (mit der gleichen Technik wurde ebenfalls die Platzierung einer Schraube beschrieben [29]). Der Führungsdraht wird bis zur Verankerung an der äußeren Kortikalis des Beckens vorgebohrt. Ein weiterer Draht der gleichen Länge dient zum Ausmessen der erforderlichen Schraubenlänge. Es wurden 6,5-mm-kanülierte Schrauben mit Teilgewinde verwendet. Bei bilateraler Versorgung mit RACS kann es erforderlich sein, den Schraubenkopf zu versenken, um den Eintrittswinkel der zweiten Schraube nicht zu blockieren (Abb. 4).

Komplikationen

Kortikale Perforation. Um das Risiko einer Perforation zu minimieren, ist eine sorgfältige prä- und intraoperative Planung der Schraubenpositionierung erforderlich. Der minimale Durchmesser des „sicheren Korridors“ sollte anhand des CT ausgemessen werden, um die geplante Schraubengröße zu beurteilen. Eine unzureichende Frakturposition erhöht das Risiko einer Perforation. Die individuelle Beckenanatomie (wie z. B. enge intraossäre Korridore oder geschwungene Schambeinäste) kann ebenfalls prädisponierend für eine Penetration der Schraube sein und von vornherein die Technik der RACS ausschließen.

Schrauben mit Teilgewinde reduzieren das Risiko einer Weichteilirritation bei kortikaler Perforation, insbesondere im Psoaslager.

Gelenkpenetration. In einigen Fällen ist es aufgrund der Anatomie nicht möglich, die Schraube oberhalb des Azetabulums

Unfallchirurg 2016 · 119:825–834 DOI 10.1007/s00113-016-0242-9
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

A. J. Stevenson · B. Swartman · A. T. Bucknill

Perkutane interne Fixation bei Beckenfrakturen

Zusammenfassung

Hintergrund. Für die perkutane interne Fixation von Beckenfrakturen, die sich zunehmender Beliebtheit erfreut, werden verschiedene neue Techniken beschrieben.

Ziel der Arbeit. Im vorliegenden Beitrag werden die bildgebende Diagnostik, Indikation, Planung, apparative Ausstattung, chirurgische Technik und Komplikationen dieser Verfahren dargestellt.

Methoden. Neben einem Überblick über die Literatur werden die Techniken für die anteriore und posteriore Beckenstabilisierung erörtert.

Ergebnisse. Hochwertige präoperative Computertomographie(CT)-Aufnahmen sind für dieses Verfahren essenziell. Der anteriore Fixateur interne („InFix“) ist eine wirkungsvolle Technik zur Stabilisierung des vorderen Beckenrings und sollte gewöhnlich zusammen mit einer posterioren Fixation eingesetzt werden. Bei guter Technik lassen sich neurovaskuläre Verletzungen vermeiden, welche eine äußerst folgenreiche Komplikation darstellen können. Die „retrograde anterior column screw“ (RACS,

retrograde anteriore Hüftbeinschraube) ist ein Verfahren, das bei den meisten Patienten angewendet werden kann; bei kleineren Patienten sind aber möglicherweise kleinere Schraubendurchmesser erforderlich. Die Insertion der Schraube erfolgt bei Frauen weiter lateral als bei Männern. Iliosakralschrauben (ISS) stellen eine wirkungsvolle Methode der posterioren Stabilisierung dar und können unter Verwendung der 2-D- oder der 3-D-Durchleuchtung, der Computer- oder CT-Navigation platziert werden.

Schlussfolgerung. Die perkutane Fixation von Beckenfrakturen erfordert eine Bildgebung hoher Qualität und kann durch Computernavigation unterstützt werden. Die sicheren Verfahren sind reproduzierbar; allerdings können nicht alle Patienten und Frakturmuster mit diesen Verfahren behandelt werden.

Schlüsselwörter

Knochenfrakturen · Interne Frakturfixation · Becken · Komplikationen · Minimal-invasive Operationsverfahren

Percutaneous internal fixation of pelvic fractures. German version

Abstract

Background. Percutaneous internal fixation of pelvic fractures is increasing in popularity with multiple new techniques reported.

Objectives. The purpose of this article is to outline the imaging, indication, planning, equipment, surgical technique and complications of these methods.

Methods. A review of the literature is provided and the techniques for anterior and posterior pelvic stabilization are discussed.

Results. High-quality preoperative CT scans are essential in planning for this technique. The anterior internal fixator („InFix“) is an effective method for stabilizing the anterior ring and should be usually used in conjunction with posterior fixation. Good technique avoids neurovascular injury, which can be a devastating complication. The retrograde anterior column screw (RACS) is

a technique that can be used in most patients, although in smaller patients smaller screw diameters may be needed. The entry point for the screw is more lateral in women than men. Iliosacral screws (ISS) are an effective method of posterior stabilization and can be placed using 2D or 3D fluoroscopy, computer navigation or CT navigation.

Conclusion. Percutaneous fixation of pelvic fractures requires high-quality imaging and can be aided by computer navigation. Safe techniques are reproducible; however, not all patients and fracture patterns can be treated using these techniques.

Keywords

Fractures, bone · Fracture fixation, internal · Pelvis · Complications · Minimally invasive surgical procedures

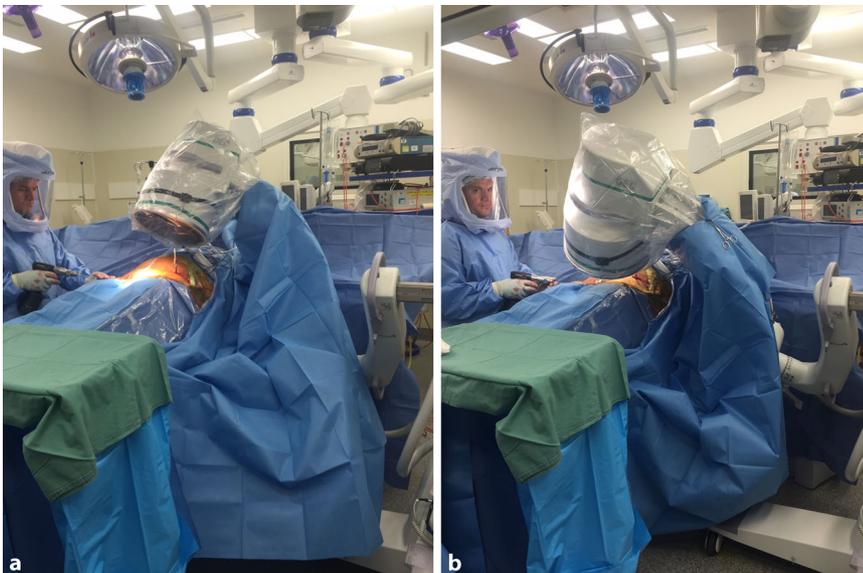


Abb. 1 ▲ Bei Implantation der RACS (retrograde Vorderer-Pfeiler-Schraube) wird der BV (Bildverstärker) steril bezogen, damit das Operationsgebiet steril bleibt und der C-Bogen in seiner Beweglichkeit nicht eingeschränkt wird. Inlet- (a) und Obturator- (b) Projektionen erfordern bei korrektem Aufbau des BV lediglich eine Bewegung im distalen Gelenkstück

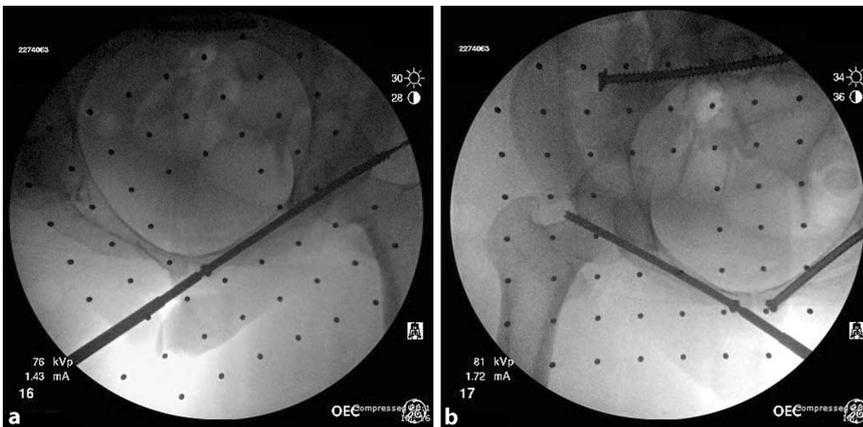


Abb. 2 ▲ Durchleuchtungsbilder zur Darstellung eines Führungsdrahts mit Bohrspitze und einer darüber platzierten 6,5-mm-RACS (retrograde Vorderer-Pfeiler-Schraube) mit Teilgewinde in der Inlet- (a) und Obturator- (b) Projektion

zu platzieren; in diesen Fällen sollten kürzere Schrauben, die vor dem Gelenk enden, eingesetzt werden.

Samenstrang-/neurovaskuläre Verletzungen. Der Samenstrang liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zum Verlauf der RACS. Er liegt dem Operationsgebiet am nächsten auf Höhe der Inzision über dem kontralateralen Schambeinast und liegt im Durchschnitt 18 mm (Range 11–30 mm) von hier entfernt [33]. Um eine Verletzung zu vermeiden, sollte die primäre Inzision oberflächlich und die Präparation auf den Knochen

stumpf durchgeführt werden. Der Führungsdraht sollte dann dem Knochen aufgesetzt und eine Gewebeschutzhülse über diesen geschoben werden.

Schlussbemerkung

Die Fixierung mit RACS ist technisch anspruchsvoll. Eine präoperative Planung ist essenziell, um Schraubengröße, Eintrittspunkt und -winkel zu bestimmen. Die Stabilisierung des hinteren Beckenrings ist Voraussetzung für die Platzierung einer RACS. Eine 6,5-mm-RACS wird in einigen Fällen aufgrund der weiblichen Anatomie nicht implan-

tiert sein, wohl aber bei der Mehrzahl der männlichen Patienten. Der Eintrittspunkt liegt bei weiblichen Patienten weiter lateral als bei männlichen. Der Gewebeschutz wird durch die Verwendung einer Schutzhülse und ein oszillierendes Bohren erhöht.

Anteriorer subkutaner interner Fixateur

In den letzten 10 Jahren hat eine rasche Verbreitung des erstmalig von Kuttner [13] beschriebenen anterioren internen Fixateurs (INFIX) stattgefunden, welcher durch den Erstbeschreiber seit 2003 eingesetzt wird. In dieser Fallserie wurden 19 Patienten mit bilateralen supraacetabulären polyaxialen Schrauben, welche mit einem vorgebogenen, subkutan getunnelten Metallstab verbunden wurden, versorgt. Beim Follow-up nach über 2 Jahren wiesen 95 % der Patienten exzellente, durchschnittliche oder moderate Ergebnisse auf.

Weitere Studien zeigten ebenfalls gute Ergebnisse nach dieser Technik [14, 16]. Die Technik wird in diesen Veröffentlichungen ausführlich beschrieben und erfordert einen Mini-open-Zugang im proximalen Bereich des Smith-Petersen-Zugangs. Es ist darauf zu achten, den N. cutaneus femoris lateralis nicht zu verletzen. Die Obturatorprojektion kann dazu verwendet werden, den Hautschnitt zu bestimmen und die „Tränenfigur“ darzustellen, die den optimalen Eintrittspunkt markiert. Mit der Ahle oder dem Bohrer wird der Knochen proximal des M.-rectus-femoris-Ansatzes eröffnet. Unter 2-D-Durchleuchtung wird der Bohrer vorgebohrt, wobei sich anhand der Alaprojektion versichert werden muss, dass der Eintrittspunkt auf Höhe der Spina iliaca anterior inferior (AIIS) und der Verlauf außerhalb des Hüftgelenks und oberhalb der Ischiadikusnotch liegen. Eine weitere Obturatoraufnahme kontrolliert die intraossäre Lage des Implantats zwischen der inneren und äußeren Kortikalis des Beckens. Pedikelschraubenlängen von 5, 7, 7,5 und 8 mm wurden beschrieben [13, 14, 16] und eine intraossäre Tiefe von >60 mm empfohlen [14], wobei dies nicht immer umsetzbar ist. Die Schrauben werden mit ei-

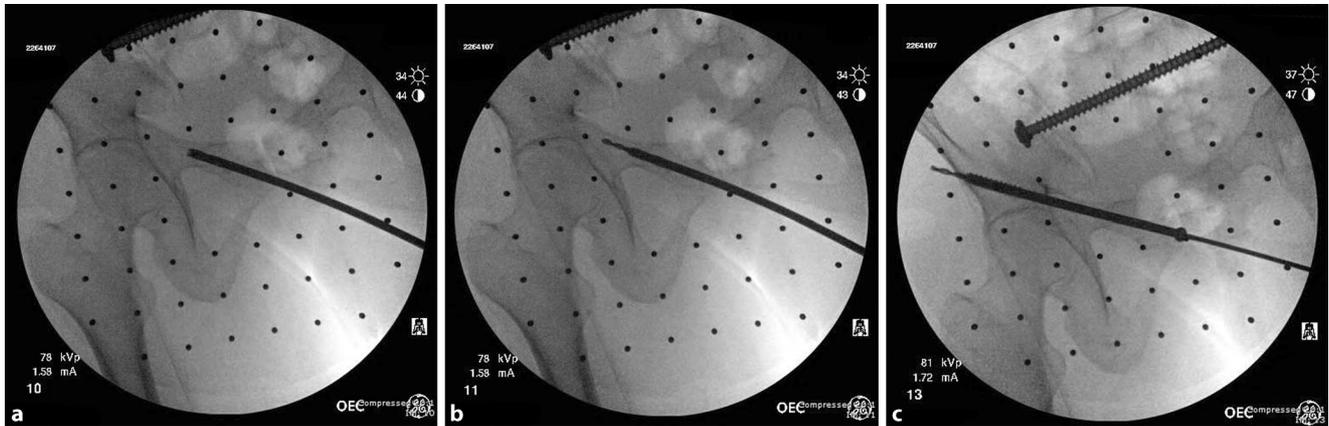


Abb. 3 ▲ Ein 4,5-mm-Bohrer wird bei dieser Patientin in den distalen Anteil des vorderen Pfeilers vorgebohrt (a). Mithilfe des Bohrers wird die Fraktur reponiert und der Führungsdraht im engen Korridor oberhalb des Azetabulums (b) platziert, anschließend wird die Schraube über den Draht eingebracht (c)

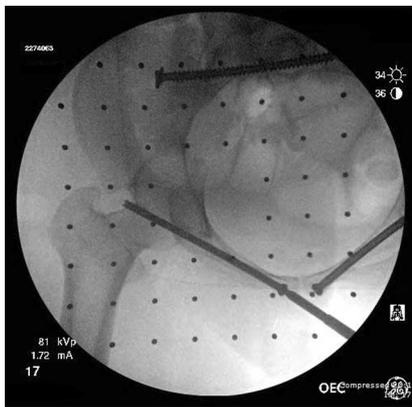


Abb. 4 ▲ Bilaterale RACS (retrograde Vorderer-Pfeiler-Schraube) – der Eintrittswinkel der zweiten (rechten) Schraube wäre bei prominentem Kopf der linken Schraube blockiert worden

nem Metallstab (Titan, Stahl oder Kobalt-Chrom) in verschiedenen Durchmesser (5–7 mm) verbunden.

Wichtig ist die epifasziale Lage der polyaxialen Schraubenköpfe, um nach Verbindung mit dem Metallstab eine Kompression des M. sartorius und der femoralen Gefäße und Nerven zu vermeiden. Der Stab wird dem Habitus des Patienten angepasst und vorgebogen, er wird subkutan auf Höhe der Gürtelfalte vorgeschoben.

Über die Inzisionen zur Schraubenplatzierung und bei weiterhin auf dem Schraubenkopf sitzender Maschine kann eine weitere Reposition erfolgen. Des Weiteren ist eine Derotation dislozierter Frakturen mithilfe komprimierender oder spreizender, auf das freie Ende des

einseitig befestigten Stabes aufgesetzter Instrumente möglich.

Die Fixierung einer vertikalen Dislokation des hinteren Beckenrings sollte vor der definitiven Fixierung des vorderen Beckenrings durchgeführt werden.

In den meisten Studien werden polyaxiale Schrauben verwendet, obwohl eine experimentelle biomechanische Studie zeigte, dass monoaxiale Schrauben im Vergleich zu den polyaxialen eine signifikant höhere Festigkeit aufweisen. Die klinische Bedeutung ist jedoch nicht untersucht [34].

Technik der Autoren

Wir verweisen auf die Schritte wie oben beschrieben und erwähnen, dass der Eintrittspunkt der Schraube häufig knapp lateral der AIIS liegt, was eine gute Erreichbarkeit der „Tränenfigur“ ermöglicht. Es wurde ein 4,5-mm-oszillierender Bohrer (der Ahle vorzuziehen) verwendet und eine 10 × 100 mm-polyaxiale Pedikelschraube platziert. Der Fixateur wird gewöhnlich nach 3 Monaten entfernt, falls keine Kontraindikationen vorliegen (▣ Abb. 5).

Komplikationen

Verletzung des N. cutaneus femoris lateralis (LCFN). Dies ist die häufigste Komplikation mit einer beschriebenen Wahrscheinlichkeit an bleibenden Gefühlsstörungen von 8–31 % [13, 14, 16]. Das Risiko der Verletzung kann durch die offene Technik, stumpfe Präparation in die Tiefe und eine angemessene Retrak-

tion der Wundränder minimiert werden. Eine Technik mit Weichteildilatoren bei 5 Patienten zeigte keine LCFN-Gefühlsstörungen [35]. Eine Gewebeschutzhülse und oszillierendes Bohren können das Risiko reduzieren. Auch bei sorgfältiger Technik kann eine Schädigung des Nervs sekundär aufgrund der Retraktion oder Irritation durch das Implantat auftreten. Häufig ist der Schaden rückläufig oder im Falle einer Persistenz von niedrigem Krankheitswert [13, 14, 16].

Lähmung durch Verletzung des N. femoralis.

Dies ist eine verheerende Komplikation, welche durch einen zu tief, unter die Faszie eingebrachten Schraubenkopf bedingt sein kann. Infolge dessen wird der Nerv beim Befestigen des Stabs komprimiert. Es ist obligat, den Schraubenkopf epifaszial zu belassen, um dies zu vermeiden. In einer Gruppe von 6 Patienten, die an dieser Komplikation litten (8 Nerven), heilte nur eine aus [36].

Heterotope Ossifikation (HO).

Die Ausbildung von HO im Bereich des Schraubenkopfs ist mit einer Rate von 25 % beschrieben [16], wobei in dieser Studie nur einer von 6 betroffenen Patienten Symptome zeigte. Dies könnte möglicherweise durch eine sorgfältige Gewebeschonung und durch Entfernung jeglicher knöcherner Rückstände bei der Schraubenplatzierung durch eine suffiziente Spülung reduziert werden (▣ Abb. 5b).

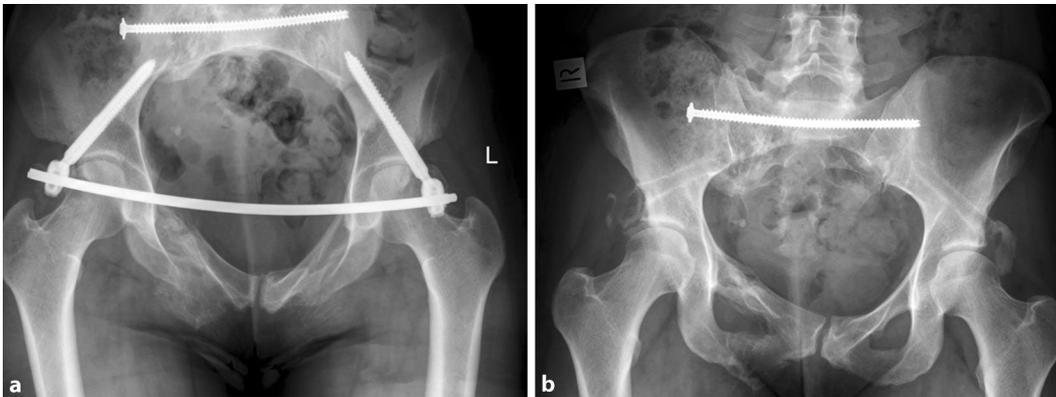


Abb. 5 ◀ Inletprojektion mit Darstellung der Iliosakralschrauben (ISS) und des internen Fixateurs (INFIX) in situ (a) und nach Entfernung (b). Auffällig sind die heterotopen Ossifikationen im Bereich der Schraubenköpfe

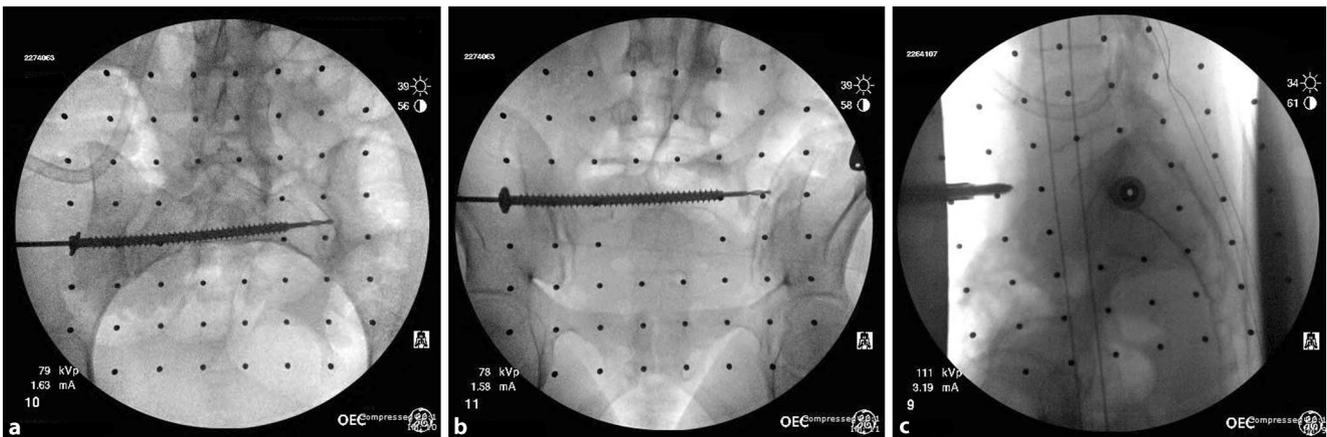


Abb. 6 ▲ Die Durchleuchtungsbilder zeigen Inlet- (a), Outlet- (b) und laterale (c) Projektionen der Iliosakralschrauben (ISS). Die Punkte bilden das Referenzgitter ab. Die Schraube erscheint dorsal des sakralen Flügels, während eine intraossäre Lage vorliegt. Es handelt sich um eine kritische Projektion

Kortikale Perforation/Gelenkpenetration.

Der regelrechte Einsatz der Durchleuchtung sollte die korrekte Platzierung sicherstellen.

Schlussbemerkung

Die anteriore interne Fixierung stellt eine effektive Methode dar, um Stabilität des vorderen Beckenrings zu erreichen. Dennoch können bei falscher Technik verheerende Komplikationen drohen. Eine Vertrautheit mit der Technik ist Voraussetzung; diese wird meistens im Zusammenhang mit der posterioren Stabilisierung durchgeführt (wie z. B. iliosakral).

Perkutaner „Pelvic-bridge-Fixateur“ des vorderen Beckenrings

Eine weitere Innovation der perkutanen Fixierung des vorderen Beckenrings stützt sich auf das Konzept des anterioren internen Fixateurs. Diese Technik

wurde in einer Studie beschrieben, die anhand von 48 Patienten die perkutane überbrückende Verplattung ($n = 24$) mit der externen Fixierung ($n = 24$) verglich [15]. Eine kleinfragmentwinkelstabile Reko-Platte (14–18 Loch) wird vorgebogen, um entlang der Beckenschaukel bis über die Symphyse hinaus, jederzeit oberhalb der Abdominalfaszie, zu liegen zu kommen. Die Schnittführung verläuft über dem anterioren Anteil des Beckenkamms (3,5 cm dorsal der ASIS) bzw. transversal über der Symphyse. Die Platte wird subkutan oberhalb der Abdominalfaszie tunneliert und an beiden Enden fixiert.

In der Studie wies die Gruppe mit überbrückender Platte signifikant weniger Komplikationen und signifikant weniger Frakturdislokation auf als die Fixateur-externe-Gruppe.

Eine weitere Studie dieser Arbeitsgruppe beschreibt eine Variante, bei der eine Platten-Stab-Konstruktion (entwi-

ckelt für die okzipitozervikale Fusion) an Stelle der Platte zum Einsatz kommt [17]. Der Plattenteil des Implantats wird am Beckenkamm, der Stab mit 4,5-mm-Pedikelschrauben an der Symphyse bzw. am oberen Schambeinast befestigt.

Relevante Vorteile dieser Technik sind die Reduktion auf die einseitige Instrumentierung bei einseitigen Verletzungen sowie bei bilateralen anterioren Frakturen die Möglichkeit weiterer Schraubenplatzierungen in einem mittleren „Schmetterlingsfragment“, um das Fragment besser retinieren zu können.

Wie bei INFIX weisen die Autoren darauf hin, dass der hintere Beckenring vor der Anwendung dieser Technik stabilisiert sein muss.

Schlussbemerkung

Diese Alternative der anterioren Stabilisierung ist nicht weit verbreitet und sollte daher den mit ihr vertrauten Chirurgen vorbehalten bleiben.

Perkutane Fixierung des hinteren Beckenrings

Die Fixierung des hinteren Beckenrings ist ein essenzieller Bestandteil der Stabilisierung des verletzten Beckens. Frakturen des hinteren Beckenrings beinhalten Sakrumfrakturen, Verletzungen des Iliosakralgelenks sowie Beckenschaufelfrakturen. Die mit offenen Zugängen zum hinteren Beckenring einhergehende Morbidität führte zur Verbreitung der perkutanen Fixierung [19, 37].

Iliosakralschrauben (ISS)

Perkutane ISS wurden anhand zahlreicher klinischer Studien als sichere Technik beschrieben [2, 9, 19, 37–47]. Ihre Verwendung reduzierte das Risiko für Blutungen und Infektionen im Vergleich zu offenen Verfahren [19, 37]. Außerdem zeigten sich ein verbessertes funktionelles Outcome, niedrigerer Schmerzscore und weniger Frakturdislokation des Beckens [43, 46]. Die mittlere Genauigkeit der ISS ist mit einer Fehlplatzierungsrate von etwa 2,5 % gut [48].

Die ISS-Versorgung beinhaltet eine geschlossene Reposition, das perkutane Einbringen eines Führungsdrahts sowie einer kanülierten Schraube über den Draht.

Unter Durchleuchtung wird der Draht durch den posterosuperioren Anteil der Beckenschaufel, durch den sakralen Flügel in den sakralen Körper geführt. Hierzu dienen die Inlet-, Outlet- und lateralen Projektionen.

Die präoperativen CT-Aufnahmen spielen bei der Darstellung von Fraktur und knöchernen Anatomie zur Planung der Schraubenplatzierung eine bedeutende Rolle [49, 50]. Die aktuellen Möglichkeiten der 3-D-CT-Rekonstruktion haben das anatomische Verständnis des hinteren Beckenrings verbessert [51–54].

Die 2-D- und 3-D-durchleuchtungsgestützte Computernavigation bei der Versorgung mit ISS hat sich als sicher und genau erwiesen [9, 55]. In einer Studie des Deutschen Becken-Trauma-Registers konnte kein Unterschied bzgl. aller Komplikationen zwischen der konventionellen und der navigierten ISS-Operationstechnik nachgewiesen wer-

den [56], wobei sich eine signifikant höhere Rate an Nervenverletzungen in der navigierten Gruppe zeigte, was schwer erklärbar ist. CT-gestützte und CT-navigierte Schrauben wurden ebenfalls in einigen Zentren verwendet [44, 45, 57, 58], eine aktuelle Metaanalyse beschreibt diese als genaueste Methode zur ISS-Platzierung [56].

Die chirurgische Technik des Einbringens von S1-Schrauben ist ausführlich beschrieben [19, 59]. Auf 3-D-Rekonstruktionen beruhende anatomische Studien zeigten, dass der sakrale Pedikel mit einem Durchmesser von 15,6 mm (11–20 mm) die engste Passage für die Schraube darstellt [32]. Dieser Korridor wird durch ungenügende Reposition weiter verkleinert [50]. Eine signifikante Komplikation der ISS stellen die Winkelabweichung der Schraube und die hierdurch verursachte kortikale Perforation dar [60].

Optimale Länge, Breite, Typ und Ort der Platzierung der ISS sind weiterhin Gegenstand der Diskussionen. Autoren beschrieben den Einsatz von 6-, 6,5-, 7,3- und 8-mm-Schrauben. Dabei kommen Schrauben mit durchgehendem oder Teilgewinde zur Anwendung. Mithilfe konventioneller 2-D-Durchleuchtung wird der Eintrittspunkt der ISS in den 3 Standardprojektionen des Beckens, lateral, Inlet und Outlet, ermittelt [19, 59]. Die ISS wird durch das Ilium, durch das Iliosakralgelenk in den sakralen Flügel/Körper eingebracht. Falls nötig, kann die Schraube transsakral bis jenseits des kontralateralen Iliums platziert werden. Gewöhnlich wird nur die S1-ISS besetzt, eine S2-ISS kann für zusätzliche Stabilität oder in Fällen eines aufgrund der Form ungeeigneten S1-Korridors zum Einsatz kommen.

In biomechanischen Studien wurde gezeigt, dass die Stabilität der Beckenfixierung bei der Kombination von ISS mit anteriorer Fixierung zunimmt [61]. In den meisten Fällen bewirkt eine S1-Schraube suffiziente Stabilität [61–63], wobei in Studien gezeigt wurde, dass 2 Schrauben in S1 und S2 eine höhere Stabilität aufweisen [64, 65].

Technik der Autoren (2-D-gestützte computerassistierte Navigation)

Der Patient wird in Rückenlage auf einem strahlendurchlässigen Tisch gelagert, ein Harnblasenkatheter wird gelegt. Ein strahlendurchlässiges Schaumstoffkissen wird unter dem Sakrum des Patienten platziert, um das Becken anzuheben und so die erforderlichen Zugangswege zu exponieren. Eine intravenöse Antibiose wird verabreicht. Das Becken wird abgewaschen und steril abgedeckt, wobei die Zugänge zum Nabel, zu den Schambeinästen, zur ASIS und zu den Beckenkämmen frei bleiben. Der BV wird steril bezogen. Es wird eine geschlossene Reposition der Fraktur durchgeführt, in einigen Fällen mithilfe eines Fixateur externe oder einer Extension. Im Falle einer Zerreißen der Symphyse erfolgt eine offene Reposition und provisorische Fixierung mit einer Zange.

Eine 5-mm-Schantz-Schraube wird in die kontralaterale Beckenschaufel eingebracht, an der ein reflektierender Referenzmarker zur Computernavigation befestigt wird. Durchleuchtungsbilder des Sakrums (Inlet, Outlet und lateral) werden an den Brainlabcomputer übermittelt. Ein Referenzgitter am Detektor des BV sowie der X-Spot des Referenzinstruments werden zentral im durch die Kamera erkannten Feld eingestellt und ermöglichen dem Computer eine Orientierung und Abgleichung der Bilder relativ zum Becken. Der Verlauf der ISS wird anhand der registrierten Bilder geplant.

Die kalibrierte Bohrhülse wird überprüft und anschließend ein 2,8-mm-Führungsdraht registriert. Es erfolgt ein Hautschnitt, woraufhin ein 430 × 2,8-mm-Führungsdraht mit Bohrspitze navigiert eingebracht wird. Oszillierendes Bohren und die „stoßende“ Technik ermöglichen einen taktilen Eindruck zur sicheren Platzierung des Drahts innerhalb des Knochens. Die Schraubenlänge wird anhand des eingebrachten Drahts ausgemessen und eine 7,3-mm-Schraube mit durchgehendem Gewinde mit Unterlegscheibe eingebracht. Die Abschlussbilder werden gespeichert (■ Abb. 6a–c).

Komplikationen

Kortikale Perforation. Eine Schraubenfehlplatzierung kann kortikale Perforationen des anterioren Körpers von S1, des Spinalkanals, des sakralen Flügels, der Neuroforamina oder der superioren Deckplatte verursachen. Dies kann zu Nervenwurzellähmungen oder Gefäßverletzungen führen. Das Risiko einer kortikalen Perforation wird bei Missachtung der Anatomie, unzureichender Frakturreposition oder Platzierung mehrerer Schrauben in einem Sakralwirbel erhöht. Ein Führungsdraht mit Bohrspitze kombiniert mit der „stoßenden“ Technik ermöglicht einen exzellenten taktilen Eindruck, um dem Operateur die Einschätzung der intraossären Lage des Drahts zu erlauben. Ein Draht mit Gewindespitze kann diesen Eindruck nicht erzeugen und erlaubt keine „stoßende“ Technik.

Nervenverletzungen. Diese treten infolge kortikaler Perforation auf, die in einer postoperativen CT-Aufnahme diagnostiziert werden kann.

Unzureichende Frakturreposition. Unzureichende Reposition oder Retention tritt häufiger in Fällen mit mangelhafter intraoperativer Bildqualität auf, wie z. B. bei adipösen Patienten oder erheblichen Darmgasüberlagerungen. Reposition und Behandlung grob dislozierter Frakturen und bilaterale Verletzungen sind aufwendiger. Die provisorische Fixierung mit einem Fixateur externe ist eine hilfreiche Technik zur Reposition und Stabilisierung des Beckens vor Implantation einer ISS.

Schlussbemerkung

Die ISS stellt eine sichere, reproduzierbare Technik, die 2-D-, 3-D- oder CT-gestützt sein kann, dar. Die Computernavigation kann ebenfalls eingesetzt werden. Präoperative CT-Aufnahmen sind Voraussetzung. Die Verwendung einer Schraube ist in den meisten Fällen suffizient.

Nach unserer Erfahrung sind die Schrauben mit durchgehendem Gewinde während der Nachbehandlung seltener rückläufig.

Andere Methoden zur perkutanen posterioren Stabilisierung

Die perkutane Verplattung des hinteren Beckenrings ist beschrieben, wird jedoch nicht flächendeckend angewendet [66]. Die posteriore Fixierung mit Pedikelschraube und Stabsystem wurde ebenfalls beschrieben, wies jedoch eine signifikant geringere Stabilität auf als eine einzelne S1-Schraube [64].

Fazit für die Praxis

- Die operative Versorgung von Beckenverletzungen ist anspruchsvoll.
- Patienten erleiden oftmals multiple Verletzungen und die Inzidenz gebrechlicher alter Patienten mit instabilen Frakturen nimmt zu.
- Die perkutane Versorgung von Beckenfrakturen kann bei Beachtung folgender Kriterien angewendet werden:
 - Vorliegen einer präoperativen CT-Aufnahme,
 - geschlossene Reposition der Fraktur möglich,
 - hohe Qualität der intraoperativen Bildgebung möglich,
 - Anwesenheit eines in offener und geschlossener Versorgung von Beckenfrakturen erfahrenen Chirurgen,
 - Vorliegen des erforderlichen Materials.
- Die Stabilisierung des Beckens unter minimaler Weichteilschädigung ist die Grundlage für die perkutane Chirurgie.
- Es können schwere Komplikationen drohen, falls Techniken nicht regelrecht angewendet werden oder die Anatomie nicht ausreichend beachtet wird.

Korrespondenzadresse

A. T. Bucknill, MBBS, MSc (Dist), FRCS, FRACS
 Head of Orthopaedic Surgery, The University of Melbourne, Royal Melbourne Hospital
 3050 Victoria, Australia
 andrew.bucknill@mh.org.au

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. J. Stevenson, B. Swartman und A. T. Bucknill geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

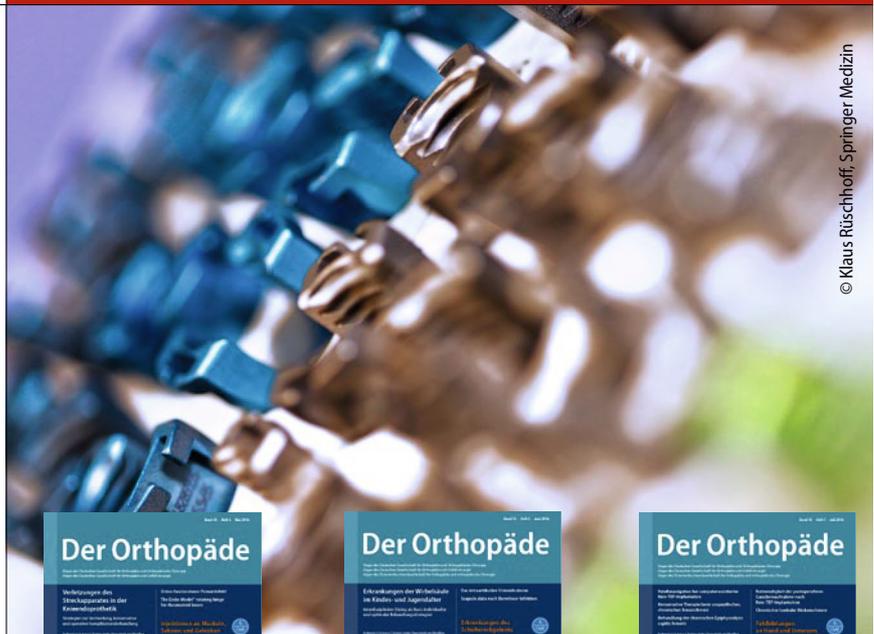
Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Gabbe BJ, de Steiger R, Esser M, Bucknill A, Russ MK, Cameron PA (2011) Predictors of mortality following severe pelvic ring fracture: Results of a population-based study. *Injury* 42(10):985–991
2. Wong JM-L, Bucknill A (2013) Fractures of the pelvic ring. *Injury*. doi:10.1016/j.injury.2013.11.021
3. Balogh Z, King KL, Mackay P, McDougall D, Mackenzie S, Evans JA et al (2007) The epidemiology of pelvic ring fractures: a population-based study. *J Trauma* 63(5):1066–1073
4. Kannus P, Palvanen M, Niemi S, Parkkari J, Järvinen M (2000) Epidemiology of osteoporotic pelvic fractures in elderly people in Finland: sharp increase in 1970–1997 and alarming projections for the new millennium. *Osteoporos Int* 11(5):443–448
5. Kellam JF, McMurtry RY, Paley D, Tile M (1987) The unstable pelvic fracture. Operative treatment. *Orthop Clin North Am* 18(1):25–41
6. Dalal SA, Burgess AR, Siegel JH, Young JW, Brumback RJ, Poka A et al (1989) Pelvic fracture in multiple trauma: Classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome. *J Trauma* 29(7):981–1000 (discussion 1000–1002)
7. Gautier E, Rommens PM, Matta JM (1996) Late reconstruction after pelvic ring injuries. *Injury* 27(Supplement 2):39–46
8. Giráldez-Sánchez MA, Lázaro-González Á, Martínez-Reina J, Serrano-Toledano D, Navarro-Robles A, Cano-Luis P et al (2015) Percutaneous iliosacral fixation in external rotational pelvic fractures. A biomechanical analysis. *Injury* 46(2):327–332
9. Wong JM-L, Bewsher S, Yew J, Bucknill A, de Steiger R (2015) Fluoroscopically assisted computer navigation enables accurate percutaneous screw placement for pelvic and acetabular fracture fixation. *Injury* 46(6):1064–1068
10. Roult ML, Simonian PT, Grujic L (1995) The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: A new technique. *J Orthop Trauma* 9(1):35–44
11. Ochs BG, Stuby FM, Ateschrang A, Stoeckle U, Gosner CE (2014) Retrograde lag screw placement in anterior acetabular column with regard to the anterior pelvic plane and midsagittal plane-Virtual mapping of 260 three-dimensional hemipelvises for quantitative anatomic analysis. *Injury* 45(10):1590–1598
12. Chen KN, Wang G, Cao LG, Zhang MC (2009) Differences of percutaneous retrograde screw fixation of anterior column acetabular fractures between male and female: A study of 164 virtual three-dimensional models. *Injury* 40(10):1067–1072
13. Kuttner M, Klaiber A, Lorenz T, Füchtmeier B, Neugebauer R (2009) The pelvic subcutaneous cross-over internal fixator. *Unfallchirurg* 112(7):661–669
14. Vaidya R, Colen R, Vigdorichik J, Tonnois F, Sethi A (2012) Treatment of unstable pelvic ring injuries with an internal anterior fixator and posterior

- fixation: initial clinical series. *J Orthop Trauma* 26(1):1–8
15. Cole PA, Gauger EM, Anavian J, Ly TV, Morgan RA, Heddings AA (2012) Anterior pelvic external fixator versus subcutaneous internal fixator in the treatment of anterior ring pelvic fractures. *J Orthop Trauma* 26(5):269–277
 16. Gardner MJ, Mehta S, Mirza A, Ricci WM (2012) Anterior pelvic reduction and fixation using a subcutaneous internal fixator. *J Orthop Trauma* 26(5):314–321
 17. Hiesterman TG, Hill BW, Cole PA (2012) Surgical technique: A percutaneous method of subcutaneous fixation for the anterior pelvic ring: The pelvic bridge. *Clin Orthop Relat Res* 470(8):2116–2123
 18. Cano-Luis P, Giráldez-Sánchez MA, Martínez-Reina J, Serrano-Escalante FJ, Galleguillos-Rioboo C, Lázaro-González A et al (2013) Biomechanical analysis of a new minimally invasive system for osteosynthesis of pubis symphysis disruption. *Injury* 43(52):S20–S27
 19. Roult ML, Gregor PJ, Simonian PT, Mayo KA (1995) Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma* 9(3):207–214
 20. Zhang L-H, Zhang L-C, Si Q-H, Gao Y, Su X-Y, Zhao Z et al (2016) Experimental study on treatment of acetabular anterior column fractures: Application of a minimally invasive percutaneous lag screw guide apparatus. *BMC Musculoskeletal Disorders* 17(1):1–7
 21. Gras F, Gottschling H, Schröder M, Marintschev I, Reimers N, Burgkart R (2014) Sex-specific differences of the infraacetabular corridor: A biometric CT-based analysis on a database of 523 pelves. *Clin Orthop Relat Res* 473(1):361–369
 22. Dienstknecht T, Müller M, Sellei R, Nerlich M, Müller FJ, Fuechtmeier B et al (2012) Screw placement in percutaneous acetabular surgery: Gender differences of anatomical landmarks in a cadaveric study. *Int Orthop (SICOT)* 37(4):673–679
 23. Ochs BRG, Gonsler C, Shiozawa T, Badke A, Weise K, Rolauffs B et al (2010) Computer-assisted periacetabular screw placement: Comparison of different fluoroscopy-based navigation procedures with conventional technique. *Injury* 41(12):1297–1305
 24. Shahulhameed A, Roberts CS, Pomeroy CL, Acland RD, Giannoudis PV (2010) Mapping the columns of the acetabulum - implications for percutaneous fixation. *Injury* 41(4):339–342
 25. Winkelhagen J, van den Bekerom MPJ, Bolhuis HW, Hogervorst M (2012) Preliminary results of cannulated screw fixation for isolated pubic ramus fractures. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 7(2):87–91
 26. Gänsslen A, Krettek C (2006) Retrograde transpubic screw fixation of transpubic instabilities. *Oper Orthop Traumatol* 18(4):330–340
 27. Akagi M, Ikeda N, Fukiage K, Nakamura T (2002) A modification of the retrograde medullary screw for the treatment of bilateral pubic ramus nonunions: A case report. *J Orthop Trauma* 16(6):431–433
 28. Simonian PT, Roult MLC Jr, Harrington RM, Tencer AF (1994) Internal fixation of the unstable anterior pelvic ring: A biomechanical comparison of standard plating techniques and the retrograde medullary superior pubic ramus screw. *J Orthop Trauma* 8(6):476–482
 29. Mosheiff R, Liebergall M (2002) Maneuvering the retrograde medullary screw in pubic ramus fractures. *J Orthop Trauma* 16(8):594–596
 30. Starr AJ, Reinert CM, Jones AL (1998) Percutaneous fixation of the columns of the acetabulum: A new technique. *J Orthop Trauma* 12(1):51–58
 31. Attias N, Lindsey RW, Starr AJ, Borer D (2005) The use of a virtual three-dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Br* 87-B(11):1520–1523
 32. Bucknill A, Yew J, Clifford J, de Steiger R (2012) Percutaneous pelvic screw placement in pelvic trauma using computer navigation. *J Bone Joint Surg Br* 94-B(Suppl. XXIII):196
 33. Firoozabadi R, Stafford P, Roult M (2015) Risk of spermatic cord injury during anterior pelvic ring and acetabular surgery: An anatomical study. *Arch Bone Jt Surg* 3(4):269–273
 34. Eagan M, Kim H, Manson TT, Gary JL, Russell JP, Hsieh AH et al (2015) Internal anterior fixators for pelvic ring injuries: Do monaxial pedicle screws provide more stiffness than polyaxial pedicle screws? *Injury* 46(6):996–1000
 35. Scheyerer MJ, Zimmermann SM, Osterhoff G, Tiziani S, Simmen H-P, Wanner GA et al (2014) Anterior subcutaneous internal fixation for treatment of unstable pelvic fractures. *BMC Res Notes* 7(1):133
 36. Hesse D, Kandmir U, Solberg B, Stroh A, Osgood G, Sems SA et al (2015) Femoral nerve palsy after pelvic fracture treated with INFIX. *J Orthop Trauma* 29(3):138–143
 37. Shuler TE, Boone DC, Gruen GS, Peitzman AB (1995) Percutaneous iliosacral screw fixation: Early treatment for unstable posterior pelvic ring disruptions. *J Trauma* 38(3):453–458
 38. Coste C, Asloum Y, Marcheix PS, Dijoux P, Charissoux JL, Mabit C (2013) Percutaneous iliosacral screw fixation in unstable pelvic ring lesions: The interest of O-ARM CT-guided navigation. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(4 Suppl):S273–S278
 39. El-Desouky II, Mohamed MM, Kandil AE (2016) Percutaneous iliosacral screw fixation in vertically unstable pelvic injuries, a refined conventional method. *Acta Orthop Belg* 82(1):52–59
 40. Hopf JC, Krieglstein CF, Müller LP, Koslowsky TC (2015) Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients. *Injury* 46(8):1631–1636
 41. Khaled SA, Soliman O, Wahed MA (2015) Functional outcome of unstable pelvic ring injuries after iliosacral screw fixation: Single versus two screw fixation. *Eur J Trauma Emerg Surg* 41(4):387–392
 42. Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, Simmen H-P, Werner CML (2011) Posterior screw fixation in rotationally unstable pelvic ring injuries. *Injury* 42(10):992–996
 43. Peng K-T, Chen P-H, Hsu W-H, Huang T-W, Huang T-J, Li Y-Y (2013) Outcome analysis of unstable posterior ring injury of the pelvis: Comparison between percutaneous iliosacral screw fixation and conservative treatment. *Biomed J* 36(6):289–286
 44. Pieske O, Landersdorfer C, Trumm C, Greiner A, Wallmichrath J, Gottschalk O et al (2015) CT-guided sacroiliac percutaneous screw placement in unstable posterior pelvic ring injuries: Accuracy of screw position, injury reduction and complications in 71 patients with 136 screws. *Injury* 46(2):333–339
 45. Reuther G, Röhner U, Will T, Dehne I, Peterleit U (2014) CT-guided screw fixation of vertical sacral fractures in local anaesthesia using a standard CT. *Fortschr Röntgenstr* 186(12):1134–1139
 46. Schweitzer D, Zylberberg A, Córdova M, Gonzalez J (2008) Closed reduction and iliosacral percutaneous fixation of unstable pelvic ring fractures. *Injury* 39(8):869–874
 47. Shui X, Ying X, Mao C, Feng Y, Chen L, Kong J et al (2015) Percutaneous screw fixation of crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint. *Orthopedics* 38(11):e976–e982
 48. Zwingmann J, Hauschild O, Bode G, Südkamp NP, Schmal H (2013) Malposition and revision rates of different imaging modalities for percutaneous iliosacral screw fixation following pelvic fractures: A systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 133(9):1257–1265
 49. Eastman JG, Roult MLC (2015) Correlating preoperative imaging with intraoperative fluoroscopy in iliosacral screw placement. *J Orthop Traumatol* 16(4):309–316
 50. Reilly MC, Bono CM, Litkouhi B, Sirkin M, Behrens FF (2003) The effect of sacral fracture malreduction on the safe placement of iliosacral screws. *J Orthop Trauma* 17(2):88–94
 51. Mendel T, Radetzki F, Wohlrab D, Stock K, Hofmann GO, Noser H (2013) CT-based 3-D visualisation of secure bone corridors and optimal trajectories for sacroiliac screws. *Injury* 44(7):957–963
 52. Mendel T, Noser H, Kuevers J, Goehre F, Hofmann GO, Radetzki F (2013) The influence of sacral morphology on the existence of secure S1 and S2 transverse bone corridors for iliosacral screw fixation. *Injury* 44(12):1773–1779
 53. Mendel T, Noser H, Wohlrab D, Stock K, Radetzki F (2011) The lateral sacral triangle – a decision support for secure transverse sacroiliac screw insertion. *Injury* 42(10):1164–1170
 54. Bastian JD, Jost J, Cullmann JL, Aghayev E, Keel MJB, Benneker LM (2015) Percutaneous screw fixation of the iliosacral joint: Optimal screw pathways are frequently not completely intraosseous. *Injury* 46(10):2003–2009
 55. Richter PH, Gebhard F, Dehner C, Scola A (2015) Accuracy of computer-assisted iliosacral screw placement using a hybrid operating room. *Injury* 47(2):402–407
 56. Zwingmann J, Südkamp NP, König B, Culemann U, Pohlmann T, Aghayev E et al (2013) Intra- and postoperative complications of navigated and conventional techniques in percutaneous iliosacral screw fixation after pelvic fractures: Results from the German pelvic trauma registry. *Injury* 44(12):1765–1772 (Dez)
 57. Takao M, Nishii T, Sakai T, Sugano N (2013) CT-3D-fluoroscopy matching navigation can reduce the malposition rate of iliosacral screw insertion for less-experienced surgeons. *J Orthop Trauma* 27(12):716–721
 58. Daffner RH, Sciulli RL (2013) CT-guided iliosacral screw placement. *Semin Musculoskelet Radiol* 17(4):407–415
 59. Tonetti J, van Overschelde J, Sadok B, Vouillat H, Eid A (2013) Percutaneous ilio-sacral screw insertion. Fluoroscopic techniques. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(8):965–972
 60. Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I (1996) Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation. *Clin Orthop Relat Res* 329:194–198
 61. Papathanasopoulos A, Tzioupis C, Giannoudis VP, Roberts C, Giannoudis PV (2010) Biomechanical aspects of pelvic ring reconstruction techniques: Evidence today. *Injury* 41(12):1220–1227
 62. Zhang L, Peng Y, Du C, Tang P (2014) Biomechanical study of four kinds of percutaneous screw fixation in two types of unilateral sacroiliac joint dislocation: A finite element analysis. *Injury* 45(12):2055–2059

63. Failing MS, McGanity PL (1992) Unstable fractures of the pelvic ring. J Bone Joint Surg Am 74(5):781–791
64. Vigdorich JM, Jin X, Sethi A, Herzog DT, Oliphant BW, Yang KH et al (2015) A biomechanical study of standard posterior pelvic ring fixation versus a posterior pedicle screw construct. Injury 46(8):1491–1496
65. Van Zwiene C, Van den Bosch EW (2004) Biomechanical comparison of sacroiliac screw techniques for unstable pelvic ring fractures. J Orthop Trauma 18(9):589–595
66. Chen W, Hou Z, Su Y, Smith WR, Liporace FA, Zhang Y (2013) Treatment of posterior pelvic ring disruptions using a minimally invasive adjustable plate. Injury 44(7):975–980



Der Orthopäde bietet Ihnen jeden Monat umfassende und aktuelle Beiträge zu interessanten Themenschwerpunkten aus allen Bereichen der Orthopädie. In mehreren Übersichtsartikeln wird ein Sachgebiet vertiefend dargestellt.

Möchten Sie ein bereits erschienenes Heft nachbestellen? Einzelne Ausgaben können Sie direkt bei unserem Kundenservice zum Preis von je EUR 39,- zzgl. Versandkosten beziehen:

Heft 6/2016: Erkrankungen der Wirbelsäule im Kindes- und Jugendalter

- Verletzungen der kindlichen thorakolumbalen Wirbelsäule
- Chronische rekurrende multifokale Osteomyelitis
- Spondylodiszitis
- Besonderheiten neuromuskulärer Skoliosen
- Adoleszente idiopathische Skoliose
- Kongenitale Fehlbildungen der Wirbelsäule im Wachstum
- **CME: Erkrankungen des Schultergelenks**

Heft 7/2016

- Videobeitrag: Patellanavigation bei computerassistierter Knie-TEP-Implantation
- Übersicht: Konservative Therapie beim unspezifischen, chronischen Kreuzschmerz
- Originalie: Ist die postoperative Ganzbeinaufnahme nach Knie-TEP-Implantation notwendig?
- **CME: Fehlbildungen an Hand und Unterarm**

So erreichen Sie unseren Kundenservice:

Springer Customer Service Center GmbH
 Kundenservice Zeitschriften
 Haberstr. 7
 69126 Heidelberg
 Tel.: +49 6221 345-4303
 Fax: +49 6221 345-4229
 E-Mail: leserservice@springer.com

www.DerOrthopaede.de