

Persönliche PDF-Datei für

Rene Hartensuer, Niklas Grüneweller, Moritz Friedrich Lodde,
Julia Evers, Oliver Riesenbeck, Michael Raschke

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Die S2-Ala-Ilium-Schraube in der Beckentraumatologie

DOI 10.1055/a-1190-5987

Z Orthop Unfall 2021; 159: 522–532

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Verlag und Copyright:

© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 1864-6697

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags

 **Thieme**

Die S2-Ala-Ilium-Schraube in der Beckentraumatologie

The S2-Alar-Iliac Screw for Pelvic Trauma

Autoren

Rene Hartensuer¹, Niklas Grüneweller, Moritz Friedrich Lodde, Julia Evers, Oliver Riesenbeck, Michael Raschke

Institut

Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie,
Universitätsklinikum Münster

Schlüsselwörter

Beckenfraktur, spinopelvin, S2-Ala-Ilium, hinterer Beckenring

Key words

pelvic fracture, spino-pelvin, S2-ala-ilium, posterior pelvic ring

online publiziert 13.07.2020

Bibliografie

Z Orthop Unfall 2021; 159: 522–532

DOI 10.1055/a-1190-5987

ISSN 1864-6697

© 2020. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

PD Rene Hartensuer, MD
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie,
Universitätsklinikum Münster
Albert-Schweitzer-Campus 1, W1, 48149 Münster
Tel.: 0251/8 35-9204, Fax: 0251/8 35-63 18
hartensuer@uni-muenster.de

ZUSAMMENFASSUNG

Perkutane Schraubenosteosynthesen gehören zum Versorgungsstandard von Frakturen des hinteren Beckenringes. Hin und wieder erfordern jedoch spezielle Situationen alternative Strategien zur suffizienten Stabilisierung. In den meisten Fällen kann die Stabilisierung mittels Spina-iliaca-posterior-supe-

rior-Schrauben (SIPS-Schrauben) erfolgen. Hierbei kann es allerdings zur implantatbedingten Aggravation der teils bereits kritischen dorsalen Weichteilsituationen nach Trauma kommen. Alternativ können S2-Ala-Ilium-Schrauben (S2AI-Schrauben) eingesetzt werden, deren Startpunkt sich über dem Sakrum medial der Spina iliaca posterior superior und unterhalb des Iliumniveaus liegt, mit einer potenziellen spinalen Instrumentierung nahezu in einer Flucht befindet und daher i. d. R. weniger Weichteilprobleme verursacht. Obwohl diese Technik in der Wirbelsäulenchirurgie in den letzten Jahren eine breite Anwendung gefunden hat, ist sie in der Traumatologie noch weitestgehend unbeschrieben. Die Möglichkeiten, aber auch die Limitationen dieser Technik für die Versorgung von Verletzungen des Beckens werden anhand einer retrospektiven Fallserie dargestellt.

ABSTRACT

Percutaneous sacro-iliac screw osteosynthesis is considered to be standard of care for most posterior pelvic ring fractures. However, special situations require alternative strategies for sufficient stabilization. In these cases, stabilization can often be achieved using posterior instrumentation e.g. using SIPS-screws (spina-iliaca-posterior-superior screws). However, this often leads to implant-related aggravation of the sometimes already critical soft tissue conditions after pelvic trauma. S2-Ala-Ilium screws (S2AI screws) are a suitable alternative. The starting point lies medial of the posterior superior iliac spine below the iliac level. It is almost in line with a potential spinal instrumentation and therefore usually causes fewer soft tissue problems. Although this technique has been widely used in spinal surgery in recent years, its use in orthopaedic traumatology is largely unknown. The possibilities but also the limitations of this technique for the treatment of injuries to the pelvis are illustrated by this retrospective case series.

Einleitung

Für die operative Stabilisierung des hinteren Beckenringes stehen verschiedene Techniken zur Verfügung. In den meisten Fällen kann hier auf die minimalinvasive sakroiliakale Verschraubung zurückgegriffen werden. Dies gilt sowohl für Verletzungen infolge eines Hochrasanztraumas [1] als auch nach Fragility-Frakturen [2]. Diese Form der minimalinvasiven Stabilisierung erreicht zwar eine gute horizontale Stabilität, hat jedoch neben Schwächen in der

vertikalen Stabilität weitere Limitationen [3]. Insbesondere kann die sakrale Schraubenverankerung in den spongiosen Knochenkorridoren eingeschränkt sein. Dies spielt vor allem bei reduzierter Knochenqualität eine große Rolle [4].

In ausgewählten Fällen, muss daher eine alternative bzw. additive Stabilisierung des hinteren Beckenringes in Erwägung gezogen werden. Eine mögliche Alternative bieten die sog. Aufhängungsosteosynthesen, die in verschiedenen Techniken zum Einsatz kommen [3, 5, 6]. Ein zentrales Problem dieser Techniken ist



► **Abb. 1** Darstellung des knöchernen Eintrittspunktes der S2Al-Schraube am Beckenmodell. **a** Der Startpunkt befindet sich auf der Ala sacralis medial der Crista sacralis lateralis auf Höhe der Spina iliaca posterior superior zwischen den Foramina sacralia posteriora S1 und S2. **b** Das Sakrum wird zwischen 40 und 60° divergierend zur Vertikalen bis zum Erreichen des SI-Gelenkes eröffnet. **c** Darstellen der Flucht des SI-Gelenkes mittels Tastsonde oder Kirschner-Draht kann bei der Orientierung der Divergenz hilfreich sein. Das SI-Gelenk wird perforiert. Hierbei ist auf das Überwinden von 2 Kortikales zu achten. Mit einem Draht oder einer Sonde kann die intraossäre Lage im Ilium überprüft werden. **d** Die Schraubeninsertion erfolgt nach entsprechendem Gewindeschnitt. Eine Insertion von kanülierten Schrauben über einen Führungsdraht erleichtert die korrekte Platzierung der Schraube. Hierbei muss allerdings zwingend darauf geachtet werden, dass beim Eindrehen der Schraube der Draht nicht abknickt oder abscherft.

die hohe Morbidität bei entsprechend schlechter Weichteildeckung.

Die S2-Ala-Ilium-Schraube (S2Al-Schraube) [7, 8] scheint dieses Problem zu reduzieren [9]. Sie hat aktuell insbesondere bei der Verankerung langstreckiger Spondylodesen im lumbosakralen Übergang bzw. bei höhergradigen Spondylolisthesen oder bei der Behandlung spinaler Deformitäten zunehmend Bedeutung und Verbreitung gefunden [10]. Hierbei wird ausgehend vom Startpunkt auf der Ala sacralis medial der Crista sacralis lateralis auf Höhe der Spina iliaca posterior superior zwischen den Foramina sacralia posteriora S1 und S2 gewählt. Die Ahle wird dann zwischen 40 und 60° zur Vertikalen divergiert (► **Abb. 1**). Das SI-Gelenk (Iliosakralgelenk) wird überwunden und die Schraube im Ilium

platziert. Die optimale Schraubenlänge ist hierbei maßgeblich von der multidimensionalen Trajektorie in Relation zur individuellen Beckenanatomie abhängig. Anhand verschiedener fluoroskopischer Einstellungen kann die Schraubenplatzierung in der Freihandtechnik unterstützt werden (► **Abb. 2**). Zur Bestimmung der optimalen Trajektorie und zur Reduktion des Zugangs kann die 3-D-Navigation genutzt werden.

In der Traumatologie ist die Verwendung dieser Schraubentechnik weitestgehend unbeschrieben. Die vorliegende Arbeit soll in einer Fallserie die Anwendungsmöglichkeiten der S2Al-Schraubentechnik sowohl zur spinopelvinen als auch zur rein pelvinen Stabilisation in der Traumatologie darstellen und kritisch diskutieren.



► **Abb. 2** a Das Aufsuchen des Startpunktes der S2Al-Schraube erfolgt anatomisch und kann in der Outlet-Projektion sowie (b) im seitlichen Röntgenbild intraoperativ kontrolliert werden. c Nach Überwinden des SI-Gelenkes kann in der Flucht des Iliums die korrekte Trajektorie der Ahle radiologisch überprüft werden. d Nach Eröffnen des Schraubenkanals kann mittels eines Führungsdrahtes die intraossäre Lage im Ilium ertastet werden. e Die Lage kann ergänzend radiologisch überprüft werden. Hierbei erfolgt die Einstellung des Strahlengangs erneut entlang der Beckenschaufel. f Nach entsprechendem Gewindeschritt (nicht dargestellt) erfolgt das Einbringen der Schraube. Die Schraubenlage kann dann entsprechend in verschiedenen Ebenen kontrolliert werden. Folgende Projektionen sind beispielhaft aufgeführt: g Die Alaprojektion zeigt eine korrekte Schraubenlage zur Incisura ischiadica major. h Die Projektion der Beckenschaufel zeigt eine Schraubenlage im Ilium. Hierbei wird das Ilium orthogonal im Strahlengang eingestellt, da die Schraube weiter medial startet. i Die Outlet-Projektion zeigt die korrekte Schraubenlage im Verhältnis zur Inzisur und zum S2-Foramen.

Patienten

Zwischen 03/2015 und 11/2019 wurde die Technik der S2AI-Schraubenimplantation wenn möglich, zur spinopelvinen Stabilisierung sowie zur Rekonstruktion des hinteren Beckenringes angewandt, wenn dies nach Maßgabe des Operateurs nicht mit einer isolierten perkutanen sakroiliakalen Verschraubung (SI-Verschraubung) zu erreichen war. Auch wurde diese Technik bei Revisionen nach fehlgeschlagener SI-Verschraubung genutzt.

Die Auswertung erfolgt retrospektiv. Die Datenakquise wurde anhand des klinischen Informationssystems (KIS) durchgeführt. Mittels ICD-Codes (S32.1 = Fraktur Os sacrum; M84.15 = Pseudarthrose Beckenring) sowie den OPS-Codes (5–81b.50, 5–81b.51, 5–81b.52, 5–81b.53 = Osteosynthese dynamische Stabilisierung an der Wirbelsäule: durch Schrauben-Stab-System) konnten sämtliche hier beschriebenen Patientenfälle identifiziert und die entsprechenden elektronischen Patientenakten ausgewertet werden. Sämtliches vorliegendes Bildmaterial der zu untersuchenden Region (Becken und LWS) wurde ausgewertet. Untersucht wurde weiterhin der Operationszugang (offenes Verfahren vs. Minioffen-Verfahren) sowie die Implantationstechnik (navigiert vs. freihändig).

Aufgetretene Komplikationen wurden erfasst und im Detail dargestellt. Die stationäre Liegedauer wurde unterteilt in intensivstationären Aufenthalt und Aufenthalt auf Normalstation. Der Nachbehandlungszeitraum wurde ebenfalls mithilfe des KIS ermittelt.

Ergebnisse

Im Zeitraum von 03/2015 bis 11/2019 wurden insgesamt 15 Patienten ($\bar{x} = 7$, $\sigma = 8$, Durchschnittsalter 61,3 J. $\pm 26,3$) unter Einsatz von S2AI-Schrauben aufgrund eines Beckentraumas oder einer posttraumatischen Komplikation operativ behandelt.

Eine Polytraumatisierung bestand in 40% der Fälle. Die S2AI-Schraubenimplantation wurde in 60% der Fälle minimalinvasiv durchgeführt, in diesen Fällen wurden die Schrauben navigiert eingebracht. In 3 Fällen erfolgte eine zusätzliche Implantation einer SI-Schraube im Sinne einer triangulären Fixation [5, 6].

Intraoperative Komplikationen traten in 2 Fällen (13%) auf. Diese waren technischer Natur, ohne eine Gefährdung der Patienten darzustellen, und konnten gut beherrscht werden. Details hierzu werden im Folgenden berichtet.

Postoperative schwere Komplikationen zeigten sich in einem Fall (7%). Hierbei bestand eine initiale ausgeprägte Morel-Lavallée-Verletzung mit Zerstörung des Beckenringes mit konsekutiver Wundheilungsstörung und Infekt sakral.

Acht der eingeschlossenen Patienten (60%) konnten im Rahmen der stationären Therapie problemlos unter Vollbelastung mobilisiert werden. Bei 3 Patienten (20%) kam es zu einer protrahierten Mobilisation unter Vollbelastung.

Bei 4 Patienten (27%) war die Vollbelastung aufgrund von Begleitverletzungen (2× Frakturen der unteren Extremitäten beidseits, 1× schweres Schädel-Hirn-Trauma mit schwerem axonalen Schertrauma, 1× Querschnittssyndrom unterhalb Segment Th6) nicht möglich. Die intra- und postoperativen radiologischen Kontrollen zeigten die regelrechte Implantatlage.

Die Indikationen, bei denen die S2AI-Technik in der Traumatologie in dieser Fallserie angewandt wurde, waren unterschiedlich und werden im Folgenden dargestellt.

Osteosynthese zur primären Stabilisierung des spinopelvinen Übergangs

Im untersuchten Patientengut wurde die S2AI-Schraube in 7 Fällen ($\bar{x} = 1$, $\sigma = 6$) in einem Osteosynthesekonstrukt zur Stabilisierung des spinopelvinen Übergangs eingesetzt (► **Abb. 3**).

Hierbei wurde in 4 Fällen ein offener Zugang und in 3 Fällen ein minimalinvasiver Zugang verwendet. Die Schraubenplatzierung erfolgte in 4 Fällen freihändig und in 3 Fällen navigiert. Das Patientenalter variierte zwischen 15 und 84 Jahren. Details sind in ► **Tab. 1** dargestellt. Bis auf einen Fall wurde die Indikation aufgrund einer traumatischen spinopelvinen Dissoziation infolge eines Hochrasanztraumas gestellt. Ein Fall zeigte eine sekundäre Dislokation nach FFP-IVc-Fraktur (FFP: Fragility Fractures of the Pelvis), sodass auch hier eine Reposition mit spinopelviner Fixation indiziert wurde. In 3 Fällen konnte die Mobilisation unter Vollbelastung erfolgen, die übrigen 4 Patienten mussten aufgrund der Begleitverletzungen (s.o.) in Teilbelastung nachbehandelt werden. Eine Wundheilungsstörung wurde nur nach initial ausgeprägter Morel-Lavallée-Verletzung mit ausgeprägter initialer Becken- und Weichteilverletzung gesehen. Bei einem jungen Patienten kam es zu einem Abbrechen eines Schraubendrehers bei der Schraubenimplantation infolge eines deutlich erhöhten Drehmoments der Schraube bei sehr guter juveniler Knochenqualität. Insgesamt konnte bei 6 von 7 Fällen (86%) der weitere postoperative Verlauf nachvollzogen werden. Eine sehr gute Mobilität (langes Gehen, Treppensteigen, sportliche Betätigung) erreichten 2 Patienten (33%), eine gute Mobilität erreichte ein 84-jähriger rollatormobiler Patient (17%). Ein Patient blieb rollstuhlmobil aufgrund einer Wirbelsäulenbegleitverletzung mit sensomotorischem Querschnitt unterhalb Th6 (17%), 2 Patienten zeigten eine ausgeprägte Immobilität primär bedingt durch ein begleitendes schweres Schädel-Hirn-Trauma (33%).

Osteosynthese zur primären isolierten Rekonstruktion des hinteren Beckenringes

Im untersuchten Patientengut wurde die S2AI-Schraube in 4 Fällen zur primären Rekonstruktion des hinteren Beckenringes eingesetzt. Die Indikation wurde in der vorliegenden Serie bei Insuffizienzfrakturen infolge von Niedrigenergiestraumata bei hochbetagten Patienten gestellt, wenn eine perkutane SI-Schraubenosteosynthese als nicht ausreichend eingeschätzt wurde. Die S2AI-Technik wurde sowohl zur dorsalen Beckenringosteosynthese (► **Abb. 4a**) als auch zur monolateralen dorsalen Beckenosteosynthese eingesetzt (► **Abb. 4b**). Die Schraubenplatzierung erfolgte bei allen minimalinvasiven Fällen navigiert. Das Patientenalter variierte zwischen 73 und 89 Jahren. Details sind in ► **Tab. 1** aufgeführt. Eine Mobilisierung unter Vollbelastung war in 3 von 4 Fällen problemlos möglich. Abgesehen von der erschwerten prolongierten Mobilisierung in einem Fall gab es keine Komplika-

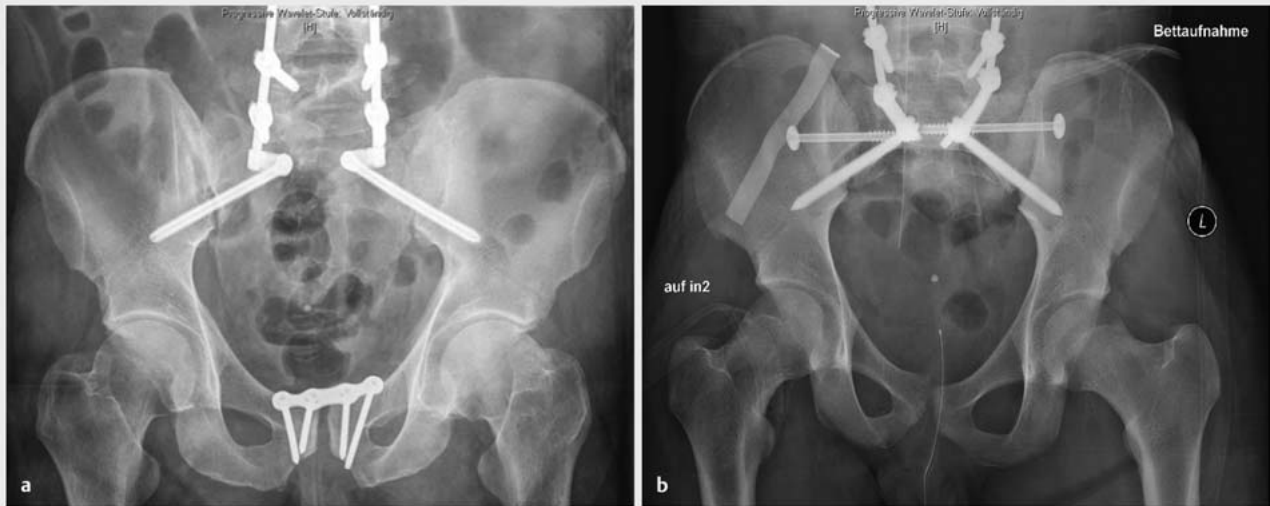
► **Tab. 1** Übersicht der mit S2AI-Schrauben versorgten Patienten. Die Patienten sind gemäß den Indikationskategorien 1) Osteosynthese zur primären Stabilisierung des spinopelvinen Übergangs, 2) Osteosynthese zur primären isolierten Rekonstruktion des hinteren Beckenringes und 3) Revisionsoperationen sortiert. Traumatische Beckenverletzungen wurden nach der AO-Klassifikation und Insuffizienzfrakturen nach der FFP-Klassifikation [28] klassifiziert.

Alter/Geschlecht	Unfallmechanismus	Beckenverletzung	Wirbelsäulenverletzung	Operation	Zugang	Navigation	Liegedauer (diversiv/insgesamt)	Komplikationen (Becken)	Indikationskategorie
40 J. ♀	Sturz > 3 m	U-shaped Sakrumfraktur i. S. einer AO-61-C3-Fraktur	LWK-1-Fraktur AOS A3	spinopelvine Osteosynthese mit L5-Pedikelschrauben + S1-Pedikelschrauben + S2AI-Schrauben bds.	offen	nein	2/17	keine	Osteosynthese zur primären Stabilisierung des spino-pelvinen Übergangs
15 J. ♂	Einklemmung unter Baufahrzeug	Komplexverletzung mit Beckenfraktur AO 61 C1 mit spinosakraler Instabilität	LWS-Kettenverletzung mit Beteiligung BWK 12, LWK 1 – LWK 5	spinopelvine Osteosynthese i. S. einer dorsalen Korrekturinstrumentierung BWK 12 bis Os sakrum (S2AI-Schrauben) und ilio-sakraler Schraube (S1-Korridor) links	offen	ja	1/19	intraoperatives Abbrechen Schraubendreher – keine Konsequenz für den Patienten	
29 J. ♀	Pkw-Unfall	spinopelvine Dissoziation bei U-shaped Sakrumfraktur (i. S. AO 61 C3)	keine	spinopelvine Osteosynthese mit beidseits L5-Pedikelschrauben + S1-Pedikelschrauben + S2AI-Schrauben	mini-open	ja	0/8	keine	
53 J. ♂	Verkehrsunfall (Fahrradfahrer vs. Pkw)	Beckenfraktur AO 61 C2	Komplexverletzung Wirbelsäule mit Frakturen BWK 6, BWK 9, LWK 1 (Myelopathiesignal Höhe BWK 5/6 und LWK 1)	mehrzeitiges Vorgehen: 1) explorative Notfalllaparotomie inkl. Beckenpacking und Symphysenverplattung 2) dorsale Instrumentierung BWK 4/5 auf BWK 8/9 und BWK 11/12 auf LWK 2/3 mit Lamiektomie 3) spinopelvine Osteosynthese L5-Pedikelschrauben + S2AI-Schrauben	offen	nein	31/31	keine	
52 J. ♂	Sturz > 3 m	Beckenfraktur AO 61 C2	Fraktur LWK 4 (AOS A3)	zweizeitiges Vorgehen: 1) Anlage supraacetabulärer Fixateur 2) Symphysenplatte, spinopelvine Osteosynthese perkutan (Pedikelschrauben LWK 3 – SWK 1, S2AI-Schrauben)	mini-open	ja	56/56	keine	
17 J. ♂	Sturz > 3 m	AO 61 C3 zweitgradig offen mit spinosakroiliakaler Dissoziation Segment L5/S1	Frakturen BWK VI, BWK XI, BWK XII	supraacetabulärer Fixateur, iliosakrale S1-Schrauben bds., spinopelvine Osteosynthese LWK 5/SWK 1/S2AI-Schraube bds.	offen	nein	151/151	großflächiger dorsaler Weichteildefekt und Infekt, frühzeitige Implantatentfernung und plastische Deckung	
84 J. ♂	Sturz < 1 m	U-shaped Sakrumfraktur (Typ Rommens IVc)	keine	spinopelvine Osteosynthese L5/S1/S2AI (2 x S2AI-Schraube, 9,2-mm-Schrauben (Fa. Silony), Pedikelschrauben L5 und S1 6,2 mm (Silony))	mini-open	ja	2/22	keine	

Fortsetzung nächste Seite

► **Tab. 1** Übersicht der mit SZAI-Schrauben versorgten Patienten. Die Patienten sind gemäß den Indikationskategorien 1) Osteosynthese zur primären Stabilisierung des spinopelvinen Übergangs, 2) Osteosynthese zur primären isolierten Rekonstruktion des hinteren Beckenringes und 3) Revisionsoperationen sortiert. Traumatische Beckenverletzungen wurden nach der AO-Klassifikation und Insuffizienzfrakturen nach der FFP-Klassifikation [28] klassifiziert. Fortsetzung

Alter/Geschlecht	Unfallmechanismus	Beckenverletzung	Wirbelsäulenverletzung	Operation	Zugang	Navigations	Liegedauer (d intensiv/insgesamt)	Komplikationen (Becken)	Indikationskategorie
89 J. ♀	Sturz < 1 m	osteoporotische Beckenfraktur rechts (Typ Rommens FFP II c)	keine	trianguläre Osteosynthese rechts mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube + iliosakraler Schraube (S1-Korridor)	mini-open	ja	3/12	keine	Osteosynthese zur primären isolierten Rekonstruktion des hinteren Beckenringes
73 J. ♀	Fahradsturz	Fraktur i. S. AO 61 B2 mit dorsaler Iliumfraktur in ISG einstrahlend	keine	monolaterale Osteosynthese mit SZAI + S1-Pedikelschraube links	mini-open	ja	0/13	keine	
89 J. ♂	Sturz < 1 m	H-shaped Sakrumfraktur (Rommens FFP IV b)	keine	dorsale Beckenringosteosynthese mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube bds.	mini-open	ja	7/14	keine	
87 J. ♀	Sturz < 1 m	H-shaped Sakrumfraktur (Typ Rommens FFP IV b)	keine	dorsale Beckenringosteosynthese mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube bds. mit Querverbinder	mini-open	ja	4/15	Mobilisation erschwert	
82 J. ♀	Sturz < 1 m	Revision bei: persistente Instabilität hinterer Beckenring nach zementaugmentierter S1-/S2-Schraubenosteosynthese bds. bei H-shaped Sakrumfraktur (Typ Rommens IV b)	keine	dorsale Beckenringosteosynthese mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube bds. mit Querverbinder	mini-open	ja	5/13	keine	Revisionsoperationen
84 J. ♂	Sturz > 3 m	Revision bei: Sakrum pseudarthrose rechts bei Z. n. Beckenfraktur rechts (AO 61 C1.2), Z. n. Osteosynthese mit Fixateur externe und iliosakraler Schraubenosteosynthese rechts (S1-Korridor)	Z. n. dorsaler Instrumentierung L2 auf L5 bei u. a. mehrsegmentaler Osteochondrose und relativer Spinalkanalenge	Erweiterung auf spinopelvine Osteosynthese mit SZAI-Schrauben bds., Konnektion mit vorbestehender dorsaler Instrumentierung, Montage Querverbinder, Resektion Pseudarthrose, autologe Spongiosaplastik	offen	nein	1/16	keine	
54 J. ♀	Verkehrsunfall	Revision bei: Sakrum pseudarthrose mit Fehlstellung links sowie Schambein pseudarthrosen links bei Z. n. nach Beckenfraktur links (AO 61 C1.2), Z. n. Osteosynthese mittels ventraler Platte und iliosakraler Schraubenosteosynthese links (S1-Korridor), ventraler Plattenbruch	keine	Implantatentfernung S1-Schraube, dorsale Beckenringosteosynthese mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube bds. mit Querverbinder, Pseudarthrosenresektion, Spongiosatransplantation vom linken dorsalen Beckenkamm	offen	nein	0/10	keine	
71 J. ♂	Verkehrsunfall	Revision bei: Pseudarthrose Sakrum rechts mit chronischer Symphyseninstabilität + chronischer ISG-Instabilität rechts bei Z. n. Beckenfraktur (AO 61 C2.2) Z. n. S1-Schraube bds. und Fixateur externe	Z. n. BW/K-1-Fraktur	zweizeitiges Vorgehen: 1) Doppelplattenosteosynthese Symphyse 2) dorsale Beckenringosteosynthese mit S1-Pedikelschraube + SZAI-Schraube bds.	mini-open	ja	0/15	Abbrechen Ahle in situ, Abbrechen Schraubenkopf in situ – keine Konsequenz für den Patienten	



► **Abb. 3** a S2Al-Schrauben als „pelvine Verankerung“ einer langstreckigen spinopelvinen Stabilisierung und (b) einer kurzstreckigen Stabilisierung bei Verletzung des spinopelvinen Übergangs.



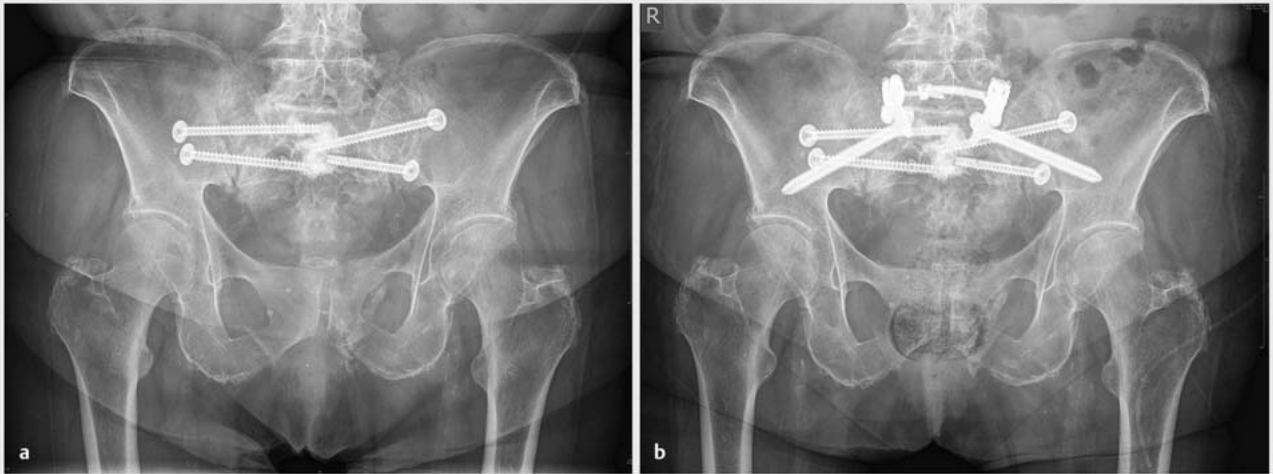
► **Abb. 4** a Dorsale Beckenringosteosynthese nach Sakruminsuffizienzfraktur (morphologisch Typ FFP IV b) bei beidseits einliegenden Hüftendoprothesen und (b) minimalinvasiver Stabilisierung einer atypischen Beckenfraktur mit Sakrumfraktur und in das Iliosakralgelenk einstrahlender posteriorer Iliumfraktur (a. e. i. S. einer AO 61 B2). Eine perkutane SI-Verschraubung konnte in diesem Fall aufgrund der Frakturmorphologie des Iliums nicht sicher durchgeführt werden.

tionen. Aus dieser Gruppe konnte der weitere Verlauf bei 3 von 4 Patienten nachvollzogen werden. Hierbei wurden keine implantatassoziierten Beschwerden gesehen.

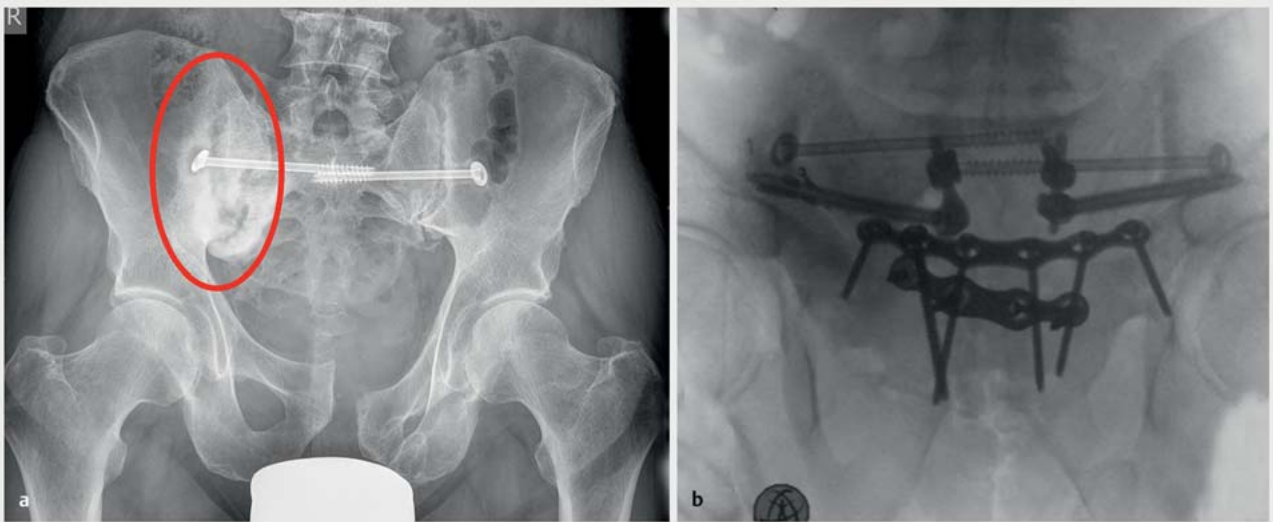
Revisionsoperationen

Im untersuchten Patientengut wurde die S2Al-Schraube in 4 Fällen im Rahmen von Revisionsoperationen bei Pseudarthrosen des hinteren Beckenrings nach perkutaner SI-Verschraubung einge-

setzt. Hierbei wurde in 2 Fällen ein offener Zugang und in 2 Fällen ein minimalinvasiver Zugang verwendet. Der offene Zugang wurde gewählt, wenn eine Resektion der Pseudarthrose mit konsekutiver Spongiosplastik indiziert wurde. Details sind in ► **Tab. 1** dargestellt. Die offene Schraubenplatzierung erfolgte freihändig, die mini-offene Technik navigiert. Das Patientenalter lag zwischen 54 und 84 Jahren. Es war möglich, die Instrumentierung in 3 Fällen auf das Becken zu beschränken, in einem Fall war aufgrund einer vorbestehenden dorsalen Instrumentierung von LWK 2 auf LWK 5



► **Abb. 5** a Trotz Zementaugmentation der SI-Schraubenosteosynthese beidseits bestand bei dieser 82-jährigen Patientin bei persistentem Mobilisationsschmerz die Indikation zur additiven dorsalen pelvinen Stabilisierung zur Rekonstruktion des hinteren Beckenringes. b Zustand nach minimalinvasiv navigierter Osteosynthese mit S1-Pedikelschrauben und S2AI-Schrauben beidseits mit Querverbinder.



► **Abb. 6** a 71-jähriger Patient mit Sakrumpseudarthrose sowie chronischer iliosakraler und symphysärer Instabilität nach C3-Beckenfraktur. Erhebliche reaktive Sklerose iliosakral (roter Kreis), durch das Ilium perforierter Schraubenkopf der SI-Schraube sowie chronische Instabilität der Symphyse. b Intraoperative Outlet-Aufnahme des gleichen Patienten nach zweizeitiger Revision mittels Doppelplattenosteosynthese symphysär sowie Rekonstruktion des hinteren Beckenringes unter Belassen der einliegenden SI-Schrauben beidseits, abgebrochene Ahlenspitze im Bereich der rechten S2AI-Schraubenspitze erkennbar.

eine Verbindung der beiden Osteosynthesen erforderlich. In allen Fällen war eine Schraubenplatzierung bei einliegender SI-Schraube möglich (► **Abb. 5**). In einem Fall kam es aufgrund einer ausgeprägten Sklerose im Bereich der Pseudarthrose zu einem Abbrechen der verwendeten Ahle und einem enorm erhöhten Eindrehmoment der Schraube mit Abscheren des Schraubenkopfes beim Eindrehen (► **Abb. 6**).

Alle Fälle konnten unter Vollbelastung mobilisiert werden. Insgesamt lag bei einem der 4 Fälle eine CT-Kontrolle mit nachgewiesener Konsolidierung der Pseudarthrose vor. Alle Fälle gaben eine deutliche Verbesserung der Schmerzsituation und Möglichkeiten der Mobilisierung an. Ein CT lag bei den anderen Fällen jedoch nicht vor. Ein Implantatversagen mit Notwendigkeit zur erneuten Revision wurde nicht gesehen.



► **Abb. 7** a Lumbosakroiliakale Dissoziation nach Sturz aus großer Höhe mit totaler ligamentärer Separation des Sakrums sowohl zur Wirbelsäule als auch zum Ilium beidseits. b Initiale offene Reposition und temporäre Stabilisierung mittels Beckenfixateur und SI-Schrauben beidseits. c Ausversorgung mit spinopelviner Osteosynthese unter Verwendung der S2AI-Schraubentechnik. Aufgrund des massiven initialen Weichteilschadens entwickelte sich hier (als einziger Fall in der vorliegenden Serie) eine relevante Wundheilungsstörung mit Infekt.

Diskussion

Die Verwendung der S2AI-Schraubentechnik ist aus der Wirbelsäulenchirurgie bekannt [7, 8]. Die Anwendung dieser Technik in der Traumatologie ist nach unserem Kenntnisstand noch nicht im Detail beschrieben.

Für die Verwendung von S2AI-Schrauben werden verschiedene Vorteile gegenüber der konventionellen Iliumschraube mit Startpunkt im Bereich der SIPS (Spina iliaca posterior superior) beschrieben. S2AI-Schrauben haben im Vergleich zu SIPS-Schrauben aufgrund des vertieften und suffizient weichteilig gedeckten Eintrittspunktes selbst bei offenem Vorgehen eine geringere Quote an Wundheilungsstörungen (9 vs. 35%), signifikant weniger tiefe Weichteilinfektionen, entsprechend signifikant weniger Revisionseingriffe sowie keine Irritationen durch prominente Schraubenköpfe [10–12].

In einer aktuellen Metaanalyse werden Vorteile der S2AI-Technik gegenüber konventioneller Iliumschraubentechnik beschrieben. Die Autoren beschreiben signifikant geringere postoperative Komplikationen bez. prominenter Implantate, Schraubenlockerungen, Implantatbruch sowie eine signifikant geringere Rate an Revisionsoperationen. Bezüglich Wundheilungsstörungen wird ebenfalls ein tendenzieller, jedoch nicht signifikanter Vorteil für die S2AI-Technik beschrieben [9]. Diese Effekte lassen sich auch im vorliegenden Patientengut bei traumatologischen Indikationen trotz der geringen Fallzahl prinzipiell nachvollziehen. Biomechanisch weisen S2AI-Schrauben sowie SIPS-Schrauben vergleichbare Eigenschaften auf [10, 14].

Die Implantation der S2AI-Schraube kann entweder über ein offenes Verfahren mit fluoroskopisch sichtbaren oder tastbaren anatomischen Landmarken (► **Abb. 1** und **2**) oder einen Mini-open-Zugang implantiert werden [8, 15, 16]. Für Letzteres ist die Verwendung eines 3-D-Navigationssystems zur Schraubenplatzierung hilfreich [17]. Hinsichtlich der Zugangswahl zeigen sich perkutane bzw. Mini-open-Verfahren aufgrund des geringeren Weichteilschadens gerade bei Risikopatienten von Vorteil [18].

Die Indikation zur minimalinvasiven Technik unter Verwendung eines Wiltse-Zugangs [19] wurde im vorliegenden Patien-

tengut mit zunehmender Erfahrung für alle 3 Indikationsgruppen unter der Vorstellung einer zusätzlichen Weichteilschonung präferiert gestellt. Bei dieser Technik sind eine intraoperative 3-D-Bildgebung und eine 3-D-Navigation extrem hilfreich. Hierbei konnte bereits präoperativ die optimale Schraubentrajektorie 3-dimensional visualisiert und geplant werden. Dies ermöglicht auch für die traumatologischen Patienten die Platzierung einer individuell perfekt dimensionierten Schraube, wie dies aus der Wirbelsäulenchirurgie beschrieben ist [20]. Allerdings bleibt das Wissen um die offene Technik und die Bewertung der entsprechenden intraoperativen Röntgendarstellung nach unserem Dafürhalten auch für eine navigationsgestützte Operation essenziell.

Unter Verwendung des minimalinvasiven Zugangs sind ebenso erweiterte Maßnahmen wie bspw. eine Dekompression von Sakralwurzeln oder auch eine Fusion des SI-Gelenkes nur sehr eingeschränkt möglich. Dies gilt es bei der präoperativen Planung zu beachten. Die Implantation einer S2AI-Schraube (offen wie auch mini-open) setzt zudem ein intaktes Sakrum im Bereich des Eintrittspunktes (S2) voraus.

Darüber hinaus kann die Reposition des Beckenringes in Bauchlage erschwert sein. Die beschriebene Technik bedingt zwingend eine anatomische Reposition vor der S2AI-Schraubenimplantation. Eine Reposition des hinteren Beckenringes über das eingebrachte S2AI-Implantat, wie dies bei anderen Techniken möglich ist [6, 21], lässt die S2AI-Schraube nicht zu. Hier war es allerdings im untersuchten Patientengut auch bei hochgradig dislozierten Frakturen des hinteren Beckenringes oder bei spinopelvinen Dissoziationen möglich, zunächst eine Reposition (offen über das 1. Fenster nach Letournel [22], in Rückenlage) durchzuführen. Nach erfolgter anatomischer Reposition des Beckenringes und initialer Fixierung mittels SI-Schraube und operativer Stabilisierung des Patienten erfolgte dann nach Umlagerung unter Verwendung der S2AI-Technik die dorsale Instrumentierung (► **Abb. 7**).

Darüber hinaus ist die (temporäre) Versteifung und relativ große Perforation des Iliosakralgelenkes gerade bei jungen Patienten ein potenzieller Kritikpunkt. Das Überbrücken des Iliosakralgelenkes scheint jedoch in Hinblick auf eine frühzeitige Gelenkdegeneration unkritisch zu sein [23]. Auch hier wurden im untersuchten

traumatologischen Patientengut nach Implantatentfernung bisher keine Probleme gesehen.

Das Implantieren der S2AI-Schrauben bietet neben den anspruchsvollen Trajektorien weitere potenzielle Herausforderungen. Bei Patienten mit guter Knochenqualität oder auch bei chronischen Instabilitäten mit erheblicher Sklerosierung kann es beim Überwinden der 3 Kortikales zu einem enorm erhöhten Eindrehmoment kommen.

Die in dieser Arbeit beschriebene Osteosyntheseform mittels S1-Pedikelschraube und S2AI-Schraube bietet auch die Möglichkeit, den hinteren Beckenring ohne zusätzliche Instrumentierung der Lendenwirbelsäule zu stabilisieren. Entsprechend kann hier ohne Vorliegen einer spinopelvinen Verletzung eine auf das Becken begrenzte Stabilisierung unter Beibehaltung der lumbalen und spinopelvinen Beweglichkeit durchgeführt werden. Diese Technik ist sowohl uni- als auch bilateral möglich. Zwar werden in der Literatur unilaterale spinopelvine Osteosynthesen nicht empfohlen [24–26]. Die dargestellten unilateralen Instrumentierungen beschränken sich allerdings auf eine rein pelvine Stabilisierung. Im beobachteten Patientengut traten diesbezüglich keine Komplikationen auf. Die limitierte Fallzahl ist allerdings zu gering, um hier eine generelle Aussage treffen zu können.

Eine weitere Anwendung der S2AI-Technik im untersuchten Patientengut erfolgte im Rahmen von Revisionsoperationen bei Pseudarthrosen nach perkutaner iliosakraler (SI) Schraubenosteosynthese. Die vorliegende Arbeit demonstriert, dass auch in diesen Fällen der hintere Beckenring durch ein Konstrukt mittels S2AI-Schrauben stabilisiert werden kann. Im untersuchten Patientengut war es in allen Fällen möglich, bei liegender SI-Schraube eine sichere Platzierung der S2AI-Schraube durchzuführen. Auch hier kann die Stabilisierung auf das Becken beschränkt bleiben und führte in der geringen Fallzahl zu einer klinischen Verbesserung aller Patienten ohne erneutes Implantatversagen.

Limitationen

Die vorliegende retrospektive Fallserie zeigt methodisch klare Limitationen. Hierbei ist die relativ niedrige Patientenzahl auf verschiedene Gruppen mit unterschiedlichen Indikationen zur Verwendung der S2AI-Schraube, Implantationstechnik, Begleitverletzungen und Patientenalter verteilt. Daher kann die vorliegende Arbeit keine qualitativen Aussagen zu den einzelnen Indikationen machen. Dennoch können wir deutlich zeigen, dass die Anwendung der S2AI-Technik aus der Wirbelsäulenchirurgie und die beschriebenen Vorteile potenziell auf die Traumatologie in verschiedenen Indikationen übertragbar ist. Diese Technik stellt aus unserer Sicht somit eine Alternative bzw. eine Ergänzung zu bisherigen Versorgungsstrategien bei der Versorgung von Verletzungen des hinteren Beckenringes und des spinopelvinen Übergangs dar.

Fazit

Die in diesem Artikel dargestellte Fallserie demonstriert die erfolgreiche Anwendung der S2-Ala-Ilium-Schraubentechnik bei verschiedenen Indikationen im Bereich der Traumatologie. Hierbei konnten sowohl spinopelvine Stabilisierungen, auf das Becken beschränkte Osteosynthesen des hinteren Beckenringes als auch Revisionsstrategien bei Pseudarthrosen erfolgreich durchgeführt

werden. Die Anwendung erfolgte sowohl bei hochgradig instabilen Beckenverletzungen, mit oder ohne spinopelvine Separation, als auch in alterstraumatologischen Behandlungssituationen und in Revisionsfällen.

Die in der Wirbelsäulenchirurgie etablierte Technik der S2AI-Schraube stellt unter Berücksichtigung der dargestellten Limitationen eine technische Bereicherung für die Versorgung von Verletzungen des hinteren Beckenringes und des spinopelvinen Übergangs dar.

Anmerkung

PD Dr. René Hartensuer und Dr. Niklas Grünweller haben zu dieser Arbeit gleichermaßen beigetragen.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Die Einhaltung ethischer Richtlinien gemäß der Deklaration von Helsinki war zu jeder Zeit für diese Publikation gewährleistet.

Literatur

- [1] Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H et al. [Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment]. *Unfallchirurg* 2004; 107: 1169–1181
- [2] Eckardt H, Egger A, Hasler RM et al. Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: assessment of complications and factors influencing failure. *Injury* 2017; 48: 2717–2723
- [3] Hoffmann MF, Dudda M, Schildhauer TA. [Unilateral triangular lumbopelvic stabilization: indications and techniques]. *Unfallchirurg* 2013; 116: 985–990
- [4] Grünweller N, Raschke MJ, Zderic I et al. Biomechanical comparison of augmented versus non-augmented sacroiliac screws in a novel hemipelvis test model. *J Orthop Res* 2017; 35: 1485–1493
- [5] Lehmann W, Hoffmann M, Briem D et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2012; 38: 517–524
- [6] Schildhauer TA, Josten C, Muhr G. Triangular osteosynthesis of vertically unstable sacrum fractures: a new concept allowing early weight-bearing. *J Orthop Trauma* 2006; 20: S44–51
- [7] Koller H, Zenner J, Hempfing A et al. Reinforcement of lumbosacral instrumentation using S1-pedicle screws combined with S2-alar screws. *Oper Orthop Traumatol* 2013; 25: 294–314
- [8] Lattig F, Weckbach S. [S2-Ala-iliac screws for extended pelvic fixation in longer lumbar instrumentations: description of a freehand technique]. *Oper Orthop Traumatol* 2017; 29: 360–372
- [9] Hasan MY, Liu G, Wong HK et al. Postoperative complications of S2AI versus iliac screw in spinopelvic fixation: a meta-analysis and recent trends review. *Spine J* 2020; 20: 964–972. doi:10.1016/j.spinee.2019.11.014
- [10] Burns CB, Dua K, Trasolini NA et al. Biomechanical comparison of spinopelvic fixation constructs: iliac screw versus S2-alar-iliac screw. *Spine Deform* 2016; 4: 10–15
- [11] Mazur MD, Ravindra VM, Schmidt MH et al. Unplanned reoperation after lumbopelvic fixation with S-2 alar-iliac screws or iliac bolts. *J Neurosurg Spine* 2015; 23: 67–76
- [12] Elder BD, Ishida W, Lo SL et al. Use of S2-alar-iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017; 42: E142–E149

- [13] Liu G, Hasan MY, Wong HK. Subcrestal iliac-screw: a technical note describing a free hand, in-line, low profile iliac screw insertion technique to avoid side-connector use and reduce implant complications. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018; 43: E68–E74
- [14] O'Brien JR, Yu W, Kaufman BE et al. Biomechanical evaluation of S2 alar-iliac screws: effect of length and quad-cortical purchase as compared with iliac fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; 38: E1250–E1255
- [15] Shillingford JN, Laratta JL, Tan LA et al. The free-hand technique for S2-alar-iliac screw placement: a safe and effective method for sacropelvic fixation in adult spinal deformity. *J Bone Joint Surg Am* 2018; 100: 334–342
- [16] O'Brien JR, Matteini L, Yu WD et al. Feasibility of minimally invasive sacropelvic fixation: percutaneous S2 alar iliac fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010; 35: 460–464
- [17] Phan K, Li J, Giang G et al. A novel technique for placement of sacro-alar-iliac (S2AI) screws by K-wire insertion using intraoperative navigation. *J Clin Neurosci* 2017; 45: 324–327
- [18] Funao H, Kebaish KM, Isogai N et al. Utilization of a technique of percutaneous S2 alar-iliac fixation in immunocompromised patients with spondylodiscitis. *World Neurosurg* 2017; 97: 757.e11–757.e18. doi:10.1016/j.wneu.2016.10.018
- [19] Wiltse LL, Bateman JG, Hutchinson RH et al. The paraspinous sacrospinal-splitting approach to the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am* 1968; 50: 919–926
- [20] Ray WZ, Ravindra VM, Schmidt MH et al. Stereotactic navigation with the O-arm for placement of S-2 alar iliac screws in pelvic lumbar fixation. *J Neurosurg Spine* 2013; 18: 490–495
- [21] Kach K, Trentz O. [Distraction spondylodesis of the sacrum in "vertical shear lesions" of the pelvis]. *Unfallchirurg* 1994; 97: 28–38
- [22] Letournel E. [Fractures of the cotyloid cavity, study of a series of 75 cases]. *J Chir (Paris)* 1961; 82: 47–87
- [23] Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR et al. Minimum 5-year analysis of L5–S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 303–308
- [24] Guerado E, Andrist T, Andrades JA et al. [Spinal arthrodesis. Basic science]. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2012; 56: 227–244
- [25] Guerado E, Fuerstenberg CH. What bone graft substitutes should we use in post-traumatic spinal fusion? *Injury* 2011; 42 (Suppl. 2): S64–S71
- [26] Guerado E, Cervan AM, Cano JR et al. Spinopelvic injuries. Facts and controversies. *Injury* 2018; 49: 449–456
- [27] Wahnert D, Raschke MJ, Fuchs T. Cement augmentation of the navigated iliosacral screw in the treatment of insufficiency fractures of the sacrum: a new method using modified implants. *Int Orthop* 2013; 37: 1147–1150
- [28] Rommens PM, Hofmann A. Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: recommendations for surgical treatment. *Injury* 2013; 44: 1733–1744



The S2-Alar-Iliac Screw for Pelvic Trauma

Die S2-Ala-Ilium-Schraube in der Beckentraumatologie

Authors

Rene Hartensuer¹, Niklas Grüneweller, Moritz Friedrich Lodde, Julia Evers, Oliver Riesenbeck, Michael Raschke

Affiliation

Department for Trauma, Hand and Reconstructive Surgery,
University Hospital of Muenster

Key words

pelvic fracture, spino-pelvin, S2-ala-iliium, posterior pelvic ring

Schlüsselwörter

Beckenfraktur, spinopelvin, S2-Ala-Ilium, hinterer Beckenring

published online 13.07.2020

Bibliography

Z Orthop Unfall 2021; 159: 522–532

DOI 10.1055/a-1190-5987

ISSN 1864-6697

© 2020. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Correspondence

PD Rene Hartensuer, MD

Department for Trauma, Hand and Reconstructive Surgery,
University Hospital of MuensterF_AdStreet LANG="DE">Al-
bert-Schweitzer-Campus 1, W1
48149 Münster

Phone: 02 51/8 35-92 04, Fax: 02 51/8 35-63 18

hartensuer@uni-muenster.de

ABSTRACT

Percutaneous sacro-iliac screw osteosynthesis is considered to be standard of care for most posterior pelvic ring fractures. However, special situations require alternative strategies for sufficient stabilization. In these cases, stabilization can often be achieved using posterior instrumentation e.g. using SIPS-

screws (spina-iliaca-posterior-superior screws). However, this often leads to implant-related aggravation of the sometimes already critical soft tissue conditions after pelvic trauma. S2-Ala-Ilium screws (S2AI screws) are a suitable alternative. The starting point lies medial of the posterior superior iliac spine below the iliac level. It is almost in line with a potential spinal instrumentation and therefore usually causes fewer soft tissue problems. Although this technique has been widely used in spinal surgery in recent years, its use in orthopaedic traumatology is largely unknown. The possibilities but also the limitations of this technique for the treatment of injuries to the pelvis are illustrated by this retrospective case series.

ZUSAMMENFASSUNG

Perkutane Schraubenosteosynthesen gehören zum Versorgungsstandard von Frakturen des hinteren Beckenringes. Hin und wieder erfordern jedoch spezielle Situationen alternative Strategien zur suffizienten Stabilisierung. In den meisten Fällen kann die Stabilisierung mittels Spina-iliaca-posterior-superior-Schrauben (SIPS-Schrauben) erfolgen. Hierbei kann es allerdings zur implantatbedingten Aggravation der teils bereits kritischen dorsalen Weichteilsituationen nach Trauma kommen. Alternativ können S2-Ala-Ilium-Schrauben (S2AI-Schrauben) eingesetzt werden, deren Startpunkt sich über dem Sakrum medial der Spina iliaca posterior superior und unterhalb des Iliumniveaus liegt, mit einer potenziellen spinalen Instrumentierung nahezu in einer Flucht befindet und daher i. d. R. weniger Weichteilprobleme verursacht. Obwohl diese Technik in der Wirbelsäulen Chirurgie in den letzten Jahren eine breite Anwendung gefunden hat, ist sie in der Traumatologie noch weitestgehend unbeschrieben. Die Möglichkeiten, aber auch die Limitationen dieser Technik für die Versorgung von Verletzungen des Beckens werden anhand einer retrospektiven Fallserie dargestellt.

Introduction

Various techniques are available for the operative stabilisation of fractures of the posterior pelvic ring. Most cases are amenable to minimally invasive sacro-iliac screw fixation. This applies to injuries arising from high-velocity trauma [1] as well as fragility fractures [2]. Although this form of minimally invasive stabilisation can achieve good horizontal stability, it does have other limita-

tions in addition to its weaknesses in providing vertical stability [3]. Notably, there may be limited sacral screw purchase in the cancellous bone corridors. This plays a particularly significant role where bone quality is poor [4].

In selected cases, therefore, an alternative or supplementary form of posterior pelvic ring stabilisation should be considered.

Triangular or distraction osteosynthesis, as used in various techniques, is a possible alternative [3,5,6]. A key problem of



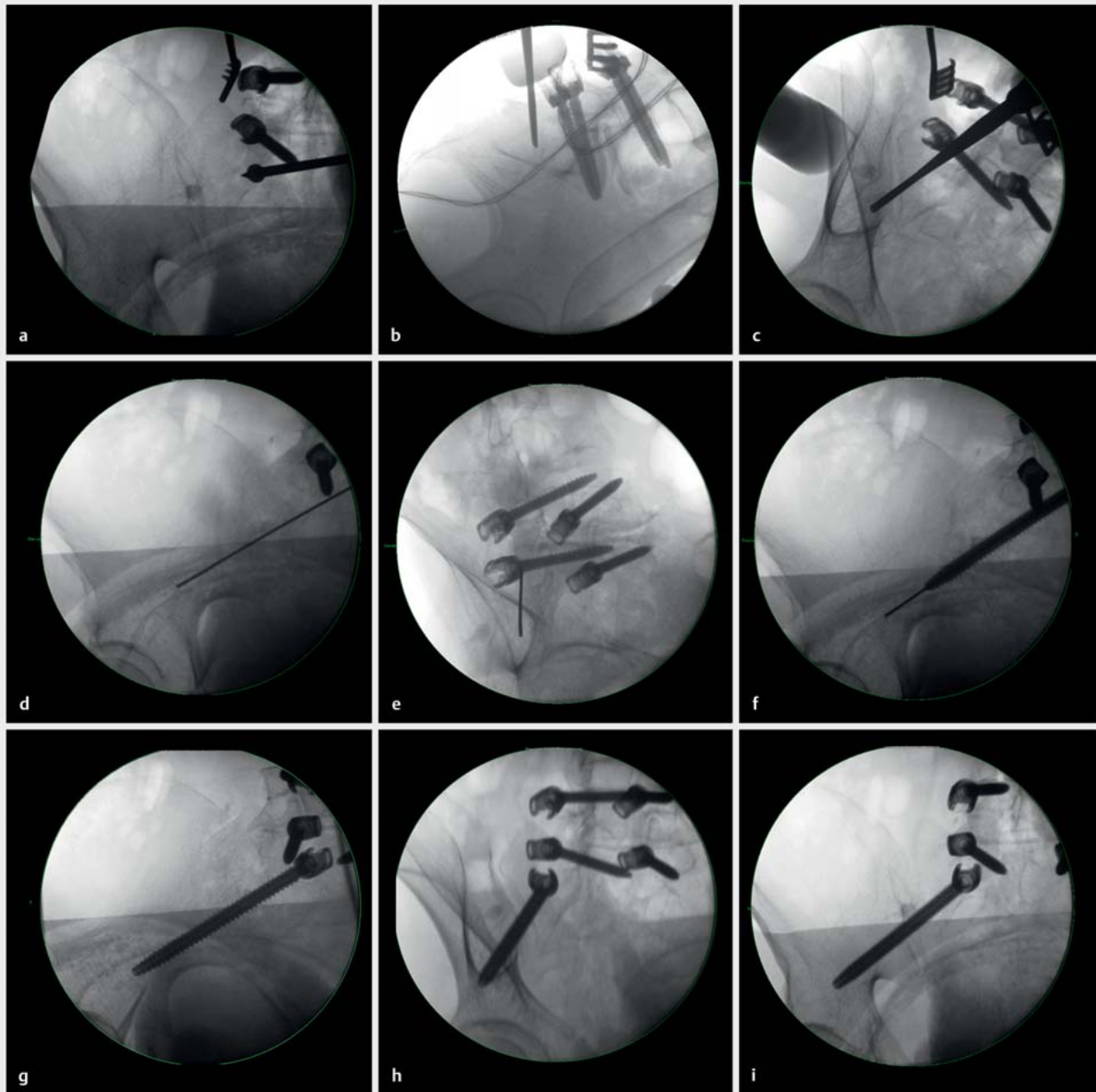
► **Fig. 1** Demonstration of the bony entry point of the S2AI screw on the pelvic model. **a** The starting trajectory is situated over the ala of the sacrum, medial to the lateral sacral crest at the level of the posterior superior iliac spine, between the posterior sacral foramina S1 and S2. **b** The sacrum is opened, diverging between 40 and 60 degrees from the vertical plane, until the sacroiliac joint is reached. **c** Demonstration of the alignment of the SI joint with a probe or K-wire can be helpful for orientation of the divergence. The SI joint is perforated. It should be ensured that two cortices are breached. The intra-osseous position in the ilium can be confirmed with a wire or a probe. **d** Screw placement is achieved after appropriate tapping. The insertion of cannulated screws via a guidewire facilitates correct placement of the screw. It is of utmost importance to ensure that the wire is not bent or sheared when tightening the screw.

these methods is the high morbidity rate associated with poor soft-tissue coverage.

The S2-alar-iliac screw (S2AI screw) [7,8] appears to reduce this problem [9]. It has recently gained importance and popularity, especially for the fixation of long-segment spondylodeses of the lumbosacral junction, for higher-grade spondylolisthesis and for the treatment of spinal deformities [10]. The starting trajectory is identified over the ala of the sacrum, medial to the lateral sacral crest at the level of the posterior superior iliac spine, between the posterior sacral foramina S1 and S2. The awl diverges between 40 and 60 degrees from the vertical plane (► **Fig. 1**). The SI-joint is breached, and the screw inserted in the ilium. Optimal screw length here depends largely on the multidimensional

trajectory in relation to individual pelvic anatomy. Various fluoroscopic settings can assist screw placement using the freehand technique (► **Fig. 2**). 3D navigation may be used to determine the best trajectory and to keep access to a minimum.

Use of this screw placement technique has gone largely unreported in the trauma literature. Based on a case series, this study presents, and takes a critical look at, the potential applications of the S2AI screw technique for both spinopelvic, and exclusively pelvic, stabilisation in trauma surgery.



► **Fig. 2** a Identification of the starting trajectory of the S2Al screw is accomplished anatomically and may be confirmed intraoperatively on the outlet view and (b) the lateral radiograph. c After perforating the sacroiliac joint, the correct trajectory of the awl in the alignment of the ilium can be verified radiologically. d After drilling the screw canal, the intraosseous position within the ilium may be felt with a guidewire. e The position may also be verified radiologically. Again, the X-ray beam is projected parallel to the iliac wing. f After appropriate tapping (not shown), the screw is inserted. Screw position can then be confirmed accordingly in different planes. The following projections are shown as examples: g The alar projection to confirm correct screw placement in relation to the greater sciatic notch. h The alar projection shows the position of the screw in the ilium. For this purpose, an orthograde projection of the ilium is obtained as the screw trajectory starts further medially. i The outlet view confirms the correct position of the screw in relation to the notch and the S2 foramen.

Patients

Between 03/2015 and 11/2019, this technique of S2AI screw insertion was used, where possible, for spinopelvic stabilisation and for reconstruction of the posterior pelvic ring if the operating surgeon did not consider it possible to achieve this with isolated percutaneous sacro-iliac (SI) screw fixation. This technique was also used for revision surgery after failed SI screw fixation.

Evaluation was conducted retrospectively.

Data acquisition was performed using the clinical information system (KIS). All the cases reported here were identified and the corresponding electronic patient files evaluated using ICD codes (S32.1 = fracture of sacrum; M84.15 = non-union of fracture pelvic ring) and the OPS-Codes (5–81b.50, 5–81b.51, 5–81b.52, 5–81b.53 = fracture fixation dynamic stabilisation of the spine: using screw and rod system). All available imaging material of the region to be examined (pelvis and lumbar spine) was assessed. Operative approach (open technique vs. mini-open technique) and implantation technique (navigated vs. freehand) were also assessed.

Complications were identified and their details presented.

The length of hospital stay was separated into stay on the intensive care unit and stay on the regular ward. Duration of postoperative care was also established using KIS.

Results

In the period from 03/2015 to 11/2019, a total of 15 patients ($\varphi = 7$, $\sigma = 8$, average age 61.3 years \pm 26.3) underwent surgery using S2AI screws for pelvic trauma or a post-traumatic complication.

Multiple injuries had been sustained in 40% of the cases. S2AI screw insertion was achieved in 60% of the cases by minimally invasive means. In these cases the screws were placed using navigation. In three cases the additional implantation using an SI screw was carried out in the form of a triangular fixation [5, 6].

Intraoperative complications occurred in two cases (13%). They were of a technical nature, without presenting any risk for the patient and were brought well under control. Details of this will be presented in the following.

Severe postoperative complications developed in one patient (7%). This case initially involved a marked Morel-Lavallee lesion associated with destruction of the pelvic ring following by postoperative impaired wound healing and infection of the sacrum.

Eight of the enrolled patients (60%) were mobilised unproblematically during inpatient care with full weight-bearing. Mobilisation with full weight-bearing was prolonged in three patients (20%).

In four patients (27%), full weight-bearing was not possible due to the sustained associated injuries (2 \times bilateral fractures of the lower limb, 1 \times severe traumatic brain injury associated with severe axonal shear injury, 1 \times transverse spinal cord syndrome below level Th6). Intra-operative and postoperative radiological follow-ups demonstrated correct implant placement.

The indications for using the S2AI technique in trauma surgery in the present case series were diverse and are presented in the following:

Fracture Fixation for Primary Stabilisation of the Spinopelvic Junction

An S2AI screw was used in seven patients ($\varphi = 1$, $\sigma = 6$) of the study population in a fracture fixation construct to stabilise the spinopelvic junction (**► Fig. 3**).

For this purpose, an open approach was used in four cases and a minimally invasive approach in three cases. Screw placement was achieved in four cases using the freehand technique and navigation in three cases. Patient age varied between 15 and 84 years. Details are presented in **► Table 1**. With the exception of one case, the indication for surgery was for trauma-related spinopelvic dissociation secondary to a high-velocity trauma. One case presented secondary displacement after an FFP 4c fracture, so here too providing an indication for reduction and spinopelvic fixation. In three cases mobilisation was achieved with full weight-bearing, while the other four patients were managed with partial weight-bearing due to the associated injuries (see above). The only impaired wound healing in the series developed after an initially marked Morel-Lavallee lesion associated with marked initial pelvic and soft-tissue injury. In one young patient the screwdriver broke while inserting the screw due to a markedly increased screw insertion torque with very good juvenile bone quality. The further postoperative course was followed-up in a total of six of the seven cases (86%). Two patients (33%) achieved very good ambulation (extensive walking, climbing stairs, sporting activities), while an 84-year-old patient (17%) achieved good mobility using a wheeled walker. One patient remained mobile in a wheelchair due to associated spinal injuries with sensomotor symptoms of transverse spinal lesion below Th6 (17%), and two patients demonstrated marked immobility primarily due to associated severe traumatic brain injury (33%).

Fracture Fixation for Primary Isolated Reconstruction of the Posterior Pelvic Ring

In the examined patient population, the S2AI screw was inserted in four cases for primary reconstruction of the posterior pelvic ring. The indication was reached in the present series for fragility fractures secondary to low-energy trauma in very elderly patients in whom percutaneous SI-screw fixation was considered inadequate. The S2AI technique was used for both posterior pelvic ring fracture fixation (**► Fig. 4a**) and unilateral posterior pelvic ring fracture fixation (**► Fig. 4b**). Placement of the screws was done by navigation in all minimally invasive cases. Patient age varied between 73 and 89 years. Details are presented in **► Table 1**. Ambulation with full weight-bearing was possible unproblematically in three of four cases. There were no complications apart from difficulties with prolonged ambulation in one case. The further clinical course of three of four patients in this group was followed-up. No implant-related symptoms were evident.

Table 1 Overview of the patients treated with S2AI screws. The patients are grouped according to the indication categories 1) fracture fixation for primary stabilisation of the spinopelvic junction, 2) fracture fixation for primary isolated reconstruction of the posterior pelvic ring and 3) revision surgery. Trauma-related pelvic injuries were classified using the AO/ASIF classification and insufficiency fractures according to the FFP (fragility fractures of the pelvis) classification [28].

Age	Mechanism of injury	Pelvic injury	Spinal injury	Operation	Approach	Naviga-tion	Length of hospital stay (days inten-sive care/total)	Complications (pelvic)	Indications category
40 years ♀	Fall > 3 m	U-shaped sacral fracture as defined by AO/ASIF 61 C3	L1 fracture AO/ASIF A3	Spinopelvic fracture fixation with bilateral L5 pedicle screws + S1 pedicle screws + S2AI screws	open	no	2/17	none	Fracture fixation for primary stabilisation of the spinopelvic junction
15 years ♂	Trapped beneath construction vehicle	Complex injury associated with pelvic fracture AO/ASIF 61 C1 with spinosacral instability	Multiple vertebral fractures of the lumbar spine with involvement of Th12, L1 to L5.	Spinopelvic fracture fixation in the form of posterior corrective instrumentation Th12 to the sacrum (S2AI screws) and iliosacral screw (S1 corridor) on the left side	open	yes	1/19	intraoperative screwdriver breakage – of no consequence for the patient	
29 years ♀	Motorcar accident	Spinopelvic dissociation with U-shaped sacral fracture (61 C3 as defined by AO/ASIF)	none	Spinopelvic fracture fixation with bilateral L5 pedicle screws + S1 pedicle screws + S2AI screws	mini-open	yes	0/8	none	
53 years ♂	Road traffic accident (cyclist vs. motorcar)	Pelvic fracture AO/ASIF 61 C2	Complex injury of the spine associated with fractures of Th6, Th9, L1 (myelopathy signal at the level Th5/6 and L1)	Multistage approach: 1. exploratory emergency laparotomy, including pelvic packing and symphyseal plating 2. posterior instrumentation Th4/5 to Th8/9 and Th11/12 to L2/3 with laminectomy spinopelvic fracture fixation L5 pedicle screws + S2AI screws	open	no	31/31	none	
52 years ♂	Fall > 3 m	Pelvic fracture AO/ASIF 61 C2	Fracture L4 (AO/ASIF Spine A3)	Two-stage approach: 1. construction of a supra-acetabular external fixator 2. symphyseal plate, percutaneous spinopelvic fracture fixation (pedicle screws L3 to S1, S2AI screws)	mini-open	yes	56/56	none	
17 years ♂	Fall > 3 m	AO/ASIF 61 C3 grade 2 open with sacroiliac spinopelvic dissociation segment L5/S1	Fractures Th6, Th11, Th12	Supra-acetabular external fixator, bilateral iliosacral S1 screws, bilateral spinopelvic fracture fixation L5/S1/S2AI screw	open	no	151/151	extensive posterior soft tissue defect and infection, early implant removal and plastic-surgical reconstruction	
84 years ♂	Fall < 1 m	U-shaped sacral fracture (Rommens type 4c)	none	Spinopelvic fracture fixation L5/S1/S2AI (2 x S2AI 9.9 mm Silony screws, pedicle screws L5 and S1 6.2 mm Silony)	mini-open	yes	2/22	none	

continued next page

Table 1 Overview of the patients treated with S2AI screws. The patients are grouped according to the indication categories 1) fracture fixation for primary stabilisation of the spinopelvic junction, 2) fracture fixation for primary isolated reconstruction of the posterior pelvic ring and 3) revision surgery. Trauma-related pelvic injuries were classified using the AO/ASIF classification and insufficiency fractures according to the FFP (fragility fractures of the pelvis) classification [28]. continued

Age	Mechanism of injury	Pelvic injury	Spinal injury	Operation	Approach	Naviga-tion	Length of hospital stay (days intensive care/total)	Complications (pelvic)	Indications category
89 years ♀	Fall < 1 m	Right-sided osteoporotic pelvic fracture (Rommens type FFP 2c)	none	Right triangular fracture fixation with S1 pedicle screw + S2AI screw + iliosacral screw (S1 corridor)	mini-open	yes	3/12	none	Fracture fixation for primary isolated pelvic reconstruction
73 years ♀	Fall from bicycle	Fracture in the form of AO/ASIF 61 B2 with posterior iliac fracture extending into the SIJ	none	Monolateral fracture fixation with left S2AI + S1 pedicle screw	mini-open	yes	0/13	none	reconstruction of the posterior pelvic ring
89 years ♂	Fall < 1 m	H-shaped sacral fracture (Rommens type FFP 4b)	none	Posterior pelvic ring fracture fixation with bilateral S1 pedicle screw + S2AI screw	mini-open	yes	7/14	none	
87 years ♀	Fall < 1 m	H-shaped sacral fracture (Rommens type FFP 4b)	none	Posterior pelvic ring fracture fixation with bilateral S1 pedicle screw + S2AI screw and cross-link	mini-open	yes	4/15	mobilisation difficult	
82 years ♀	Fall < 1 m	Revision surgery for: persistent instability of the posterior pelvic ring after bilateral cement-augmented S1/S2 screw fixation for H-shaped sacral fracture (Rommens type 4b)	none	Posterior pelvic ring fracture fixation with bilateral S1 pedicle screw + S2AI screw and cross-link	mini-open	yes	5/13	none	Revision surgery
84 years ♂	Fall > 3 m	Revision surgery for: right-sided fracture non-union of the sacrum secondary to a right pelvic fracture: (AO/ASIF 61 C1.2), history of fracture fixation with external fixator and right iliosacral screw fixation (S1 corridor)	History of posterior instrumentation L2 to L5 associated with, amongst other things, multisegmental osteochondrosis and relative spinal stenosis	Extension of the spinopelvic fracture fixation using bilateral S2-alar-iliac screws, connection to pre-existing posterior instrumentation, cross-link construction, non-union resection, autologous cancellous bone graft	open	no	1/16	none	
54 years ♀	Road traffic accident	Revision surgery for: fracture non-union of the sacrum with left-sided malalignment and left fracture non-unions of the pubic bone secondary to left-sided pelvic fracture (AO/ASIF 61 C1.2), history of fracture fixation with anterior plate and left iliosacral screw fixation (S1 corridor), anterior plate breakage	none	Implant removal of S1 screw, posterior pelvic ring fracture fixation with bilateral S1 pedicle screw + S2AI screw with cross-link, resection of non-union, cancellous bone graft from the left posterior iliac crest	open	no	0/10	none	
71 years ♂	Road traffic accident	Revision surgery for: sacral non-union right side with chronic symphyseal instability + chronic right SIJ instability secondary to pelvic fracture (AO/ASIF 61 C2.2), history of bilateral S1 screw and external fixator	History of T11 fracture	Two-stage approach: 1. symphyseal double plate fixation 2. posterior pelvic ring fracture fixation with bilateral S1 pedicle screw + S2AI screw	mini-open	yes	0/15	broken awl in situ, broken screw head in situ – of no consequence for the patient	



► **Fig. 3** a S2AI screws as “pelvic anchorage” of a long-segment spinopelvic stabilisation and b short-segment stabilisation for injury to the spinopelvic junction.

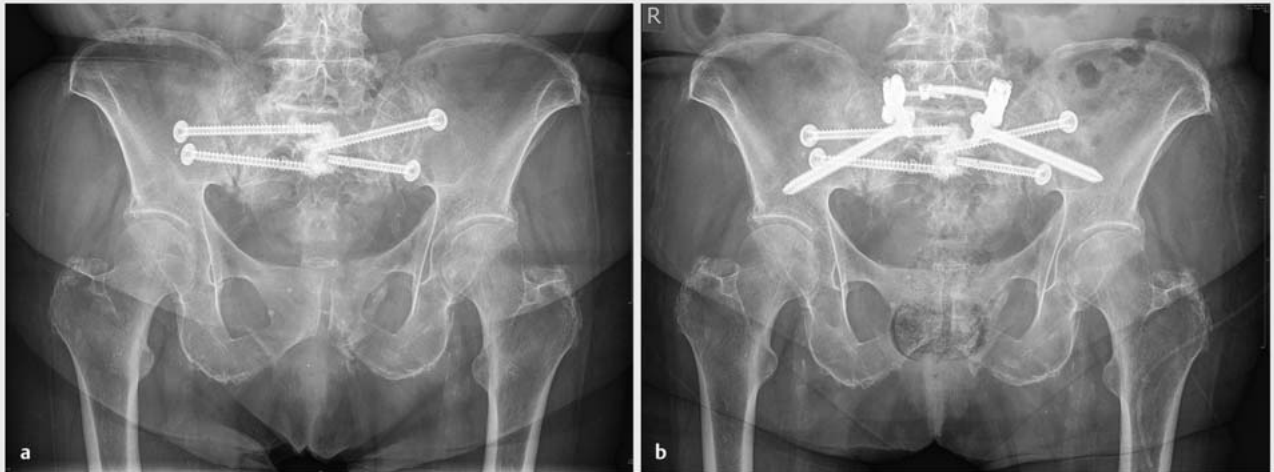


► **Fig. 4** a Posterior pelvic ring fracture fixation for sacral fragility fracture (morphological type FFP 4b) with bilateral hip replacements in situ and b minimally invasive stabilisation of an atypical pelvic fracture associated with sacral fracture and posterior iliac fracture extending into the sacroiliac joint (most likely corresponding to an AO/ASIF 61 B2). It was not possible to perform percutaneous SI screw fixation with confidence due to the morphology of the ilium fracture.

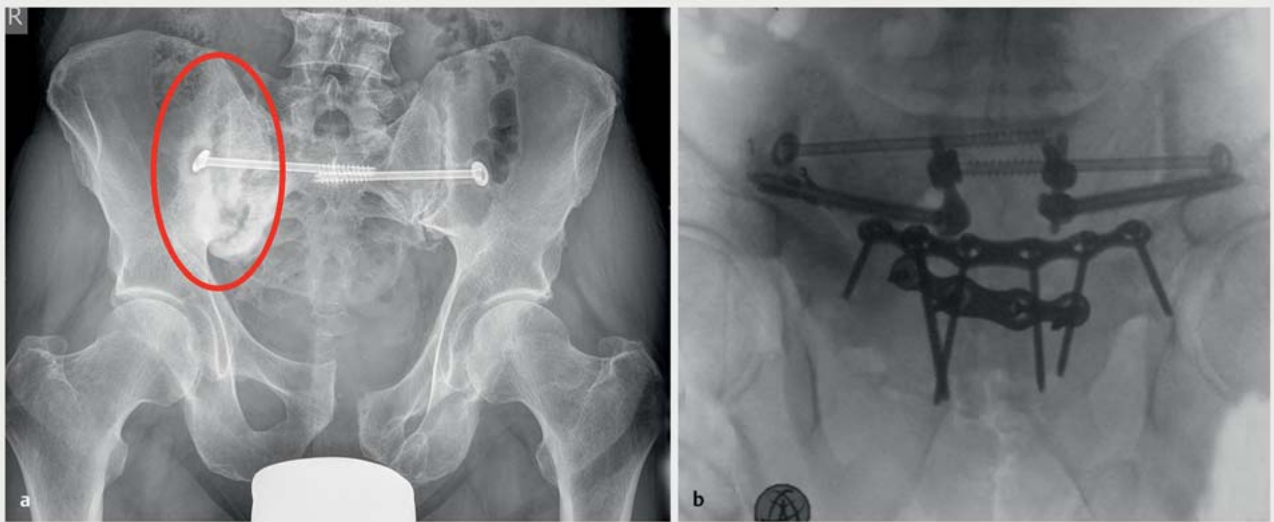
Revision Procedures

In the study population, the S2AI screw was used in four cases during revision surgery for fracture non-union of the posterior pelvic ring after previous percutaneous SI screw fixation. Here, an open approach was used in two cases and a minimally invasive approach also in two cases. An open approach was chosen if resection of the non-union with subsequent cancellous bone graft was indicated. Details are presented in ► **Table 1**. Open screw

placement was done using the freehand technique; the mini-open technique was performed with navigation. Patient age varied between 54 and 84 years. It was possible to restrict instrumentation to the pelvis in three cases, while it was necessary in one case with previous posterior instrumentation of L2 to L5 to combine the two fracture fixations. In all the cases screw placement was possible with the SI screw in situ (► **Fig. 5**). In one case, the awl broke due to marked sclerosis while resecting the non-union and the screw



► **Fig. 5 a** Despite cement-augmentation of the bilateral SI-screw fixation in this 82-year-old female patient with persistent pain on ambulation, there was the indication for additive posterior stabilisation of the pelvis for reconstruction of the posterior pelvic ring. **b** History of minimally invasive navigated fracture fixation with S1-pedicle screws and bilateral S2AI-screws with cross-link.



► **Fig. 6 a** 71-year-old male patient with fracture non-union of the sacrum and chronic iliosacral and symphyseal instability secondary to a C3 pelvic fracture. Considerable reactive iliosacral sclerosis (red circle), SI screw head has perforated the ilium, and evidence of chronic symphyseal instability. **b** Intraoperative outlet view of the same patient after two-stage revision surgery using double plate fixation of the symphysis and reconstruction of the posterior pelvic ring, leaving the bilateral SI screws in situ, broken awl tip evident in the region of the tip of the right S2AI screw.

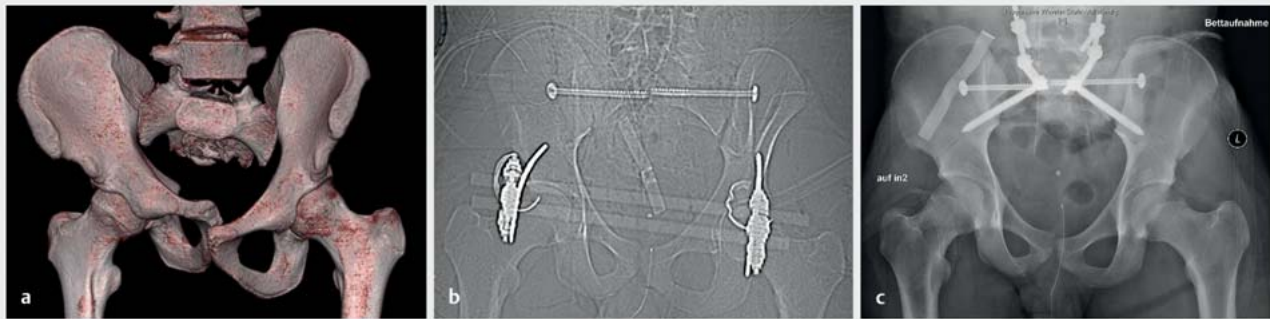
head sheared off due to significantly increased screw insertion torque (► **Fig. 6**).

All of the cases were mobilised with full weight-bearing. In one of a total of four cases, a follow-up CT scan was available demonstrating consolidation of the non-union. Each case reported marked improvement of pain and the ability to ambulate. A CT scan was not available, however, in the other cases. Implant failure necessitating renewed revision surgery was not encountered.

Discussion

Use of the S2AI screw technique is a method known in spinal surgery [7, 8]. To our knowledge, the application of this technique in trauma surgery has not yet been reported in detail.

A number of advantages over the conventional ilium screw have been reported for the use of S2AI screws with the insertion point in the region of the PSIS (posterior superior iliac spine). In



► **Fig. 7** a Lumbo-sacro-iliac dissociation after a fall from a great height associated with complete bilateral ligamentous separation of the sacrum from both the spine and the ilium. b Initial open reduction and temporary stabilisation with a pelvic external fixator and bilateral SI screws. c Completion of management with spinopelvic fracture fixation using the S2AI screw technique. This was the only case in the present series which developed clinically relevant impaired wound healing associated with infection due to the massive initial soft-tissue injury.

comparison with PSIS screws, S2AI screws have a lower abnormal wound healing rate (9% vs. 35%), significantly less deep soft-tissue infections, subsequently significantly less revision procedures and no irritation from prominent screw heads due to the sunken entry point with sufficient soft-tissue coverage, even with the open approach [10–12].

The advantages of the S2AI technique over the conventional ilium screw technique have been reported in a recent meta-analysis. The authors report significantly less postoperative complications from prominent implants, screw loosening, implant breakage and a significantly lower rate of revision surgery. A tendential, albeit not significant, advantage in favour of the S2AI technique has also been reported for abnormal wound healing [9]. The effects are basically confirmed in the present patient population for traumatological indications, despite the small number of cases. S2AI screws and SIPS screws demonstrated comparable biomechanical properties [10, 14].

The insertion of the S2AI screw can either be accomplished via an open technique using fluoroscopically visible or palpable anatomical landmarks (► **Figs. 1** and **2**) or a mini-open approach [8, 15, 16]. Use of a 3D navigation system for screw placement is helpful for the latter method [17]. With regard to the choice of access, percutaneous and mini-open approaches are an advantage due to the low degree of soft-tissue damage, especially with high-risk patients [18].

As experience was gained with the minimally invasive technique using a Wiltse paraspinous approach [19], the indication for its use was preferred for the present patient population for all three indication groups with consideration of the additional soft-tissue protection. Intraoperative 3D imaging and 3D navigation were extremely helpful with this technique. This enabled optimal screw trajectory to be already visualised and planned three-dimensionally preoperatively. It also allowed placement of an individually and perfectly dimensioned screw for the trauma patients, as has been reported for spinal surgery [20]. However, in our opinion, it remains essential to have knowledge of the open technique and to be able to assess corresponding intraoperative X-ray imaging even for navigation-controlled surgery.

When using the minimally invasive approach, extended measures, such as decompression of sacral roots or fusion of the sacroiliac joint for example, are only possible to a very limited extent. This should be considered during preoperative planning. Implantation of a S2AI screw (open or mini-open) also presupposes an intact sacrum at the entry point (S2).

Furthermore, reduction of the pelvic ring is difficult with the patient positioned in the prone fashion. The reported technique requires anatomical reduction before S2AI screw insertion. The S2AI-screw does not allow reduction of the posterior pelvic ring via the inserted S2AI implant, as is possible with other techniques [6, 21]. It was, however, possible with the present patient population to first conduct reduction (open using the first window of the Letournel approach [22], with the patient positioned in the supine fashion), even with high-grade displaced fractures of the posterior pelvic ring or with spinopelvic dissociation. On completion of reduction of the pelvic ring and initial fixation with an SI screw and operative stabilisation of the patient, dorsal instrumentation was then performed using the S2AI technique after repositioning the patient (► **Fig. 7**).

Also, the (temporary) fusion and relatively large perforation of the sacroiliac joint are possible grounds for criticism, particularly in young patients. Iliosacral bridging appears to be of minimal importance with regard to the prospect of developing early joint degeneration [23]. So far, no problems have been encountered here in the present study population after implant removal either.

Implantation of S2AI screws poses further potential challenges, apart from the demanding trajectories. In patients with good bone quality or even with chronic instabilities with significant sclerosis, considerably increased screw insertion torque can develop when traversing three cortices.

Fracture fixation with S1 pedicle screws and S2AI screws described in this study also provides the possibility of stabilising the posterior pelvic ring without using any additional instrumentation of the lumbar spine. Stabilisation limited to the pelvis, while maintaining lumbar and spinopelvic movement, can be performed provided there is no spinopelvic injury. The technique is possible both unilateral and bilateral. Although spinopelvic fracture fixation is

not recommended in the literature [24–26], the unilateral instrumentations presented here, however, are exclusively restricted to pelvic stabilisation. We saw no such related complications in our patient population. The restricted number of cases, however, is too small to make a general statement.

Another use of the S2AI technique in our patient population was for revision surgery in cases of non-union after percutaneous ilio-sacral (IS) screw fixation. The present study demonstrates that even in these cases the posterior pelvic ring can also be stabilised by a construct using S2AI screws. It was possible in the present patient population to achieve secure placement of the S2AI screw with the SI screw left in situ in each case. Here too, stabilisation can remain limited to the pelvis and in this small number of cases resulted in a clinical improvement of each patient without renewed implant failure.

Limitations

The present retrospective case series clearly has methodical limitations. The relatively small number of patients is distributed over a number of groups with different indications for use of the S2AI screw, differences of implantation technique, of associated injuries and of patient age. The present study cannot therefore draw any qualitative conclusions about the individual indications. Nevertheless, we can clearly show that use of the S2AI technique adopted from spinal surgery and the reported advantages are potentially transferable to various indications of trauma surgery. In our view, this technique therefore provides an alternative, or an addition, to previous management strategies for treating injuries of the posterior pelvic ring and the spinopelvic junction.

Conclusion

The case series presented in this article demonstrates the successful use of the S2-alar-iliac screw technique for various indications in the field of trauma surgery. It was possible to successfully perform spinopelvic stabilisation, fracture fixations of the posterior pelvic ring confined to the pelvis, as well as revision strategies for non-union. It was used both for high-grade unstable pelvic injuries, with or without spinopelvic separation, as well as in age-related traumatological management situations and in revision cases.

Taking the reported limitations into account, the technique of S2AI screw fixation, which has already established itself in spinal surgery, is a technical enrichment for the management of injuries to the posterior pelvic ring and the spinopelvic junction.

Note

The university lecturers Mr. René Hartensuer MD and Mr. Niklas Grüneweller MD have both contributed equally to this study.

Conflict of Interest

The authors confirm that there are no conflicts of interest to declare. This publication was conducted at all times in compliance with the ethical guidelines of the Declaration of Helsinki.

References

- [1] Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H et al. [Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment]. *Unfallchirurg* 2004; 107: 1169–1181
- [2] Eckardt H, Egger A, Hasler RM et al. Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: assessment of complications and factors influencing failure. *Injury* 2017; 48: 2717–2723
- [3] Hoffmann MF, Dudda M, Schildhauer TA. [Unilateral triangular lumbopelvic stabilization: indications and techniques]. *Unfallchirurg* 2013; 116: 985–990
- [4] Gruneweller N, Raschke MJ, Zderic I et al. Biomechanical comparison of augmented versus non-augmented sacroiliac screws in a novel hemipelvis test model. *J Orthop Res* 2017; 35: 1485–1493
- [5] Lehmann W, Hoffmann M, Briem D et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2012; 38: 517–524
- [6] Schildhauer TA, Josten C, Muhr G. Triangular osteosynthesis of vertically unstable sacrum fractures: a new concept allowing early weight-bearing. *J Orthop Trauma* 2006; 20: S44–51
- [7] Koller H, Zenner J, Hempfing A et al. Reinforcement of lumbosacral instrumentation using S1-pedicle screws combined with S2-alar screws. *Oper Orthop Traumatol* 2013; 25: 294–314
- [8] Lattig F, Weckbach S. [S2-Ala-iliac screws for extended pelvic fixation in longer lumbar instrumentations: description of a freehand technique]. *Oper Orthop Traumatol* 2017; 29: 360–372
- [9] Hasan MY, Liu G, Wong HK et al. Postoperative complications of S2AI versus iliac screw in spinopelvic fixation: a meta-analysis and recent trends review. *Spine J* 2020; 20: 964–972. doi:10.1016/j.spinee.2019.11.014
- [10] Burns CB, Dua K, Trasolini NA et al. Biomechanical comparison of spinopelvic fixation constructs: iliac screw versus S2-alar-iliac screw. *Spine Deform* 2016; 4: 10–15
- [11] Mazur MD, Ravindra VM, Schmidt MH et al. Unplanned reoperation after lumbopelvic fixation with S-2 alar-iliac screws or iliac bolts. *J Neurosurg Spine* 2015; 23: 67–76
- [12] Elder BD, Ishida W, Lo SL et al. Use of S2-alar-iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017; 42: E142–E149
- [13] Liu G, Hasan MY, Wong HK. Subcrestal iliac-screw: a technical note describing a free hand, in-line, low profile iliac screw insertion technique to avoid side-connector use and reduce implant complications. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018; 43: E68–E74
- [14] O'Brien JR, Yu W, Kaufman BE et al. Biomechanical evaluation of S2 alar-iliac screws: effect of length and quad-cortical purchase as compared with iliac fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; 38: E1250–E1255
- [15] Shillingford JN, Laratta JL, Tan LA et al. The free-hand technique for S2-alar-iliac screw placement: a safe and effective method for sacropelvic fixation in adult spinal deformity. *J Bone Joint Surg Am* 2018; 100: 334–342
- [16] O'Brien JR, Matteini L, Yu WD et al. Feasibility of minimally invasive sacropelvic fixation: percutaneous S2 alar iliac fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010; 35: 460–464
- [17] Phan K, Li J, Giang G et al. A novel technique for placement of sacro-alar-iliac (S2AI) screws by K-wire insertion using intraoperative navigation. *J Clin Neurosci* 2017; 45: 324–327
- [18] Funao H, Kebaish KM, Isogai N et al. Utilization of a technique of percutaneous S2 alar-iliac fixation in immunocompromised patients with spondylodiscitis. *World Neurosurg* 2017; 97: 757.e11–757.e18. doi:10.1016/j.wneu.2016.10.018

- [19] Wiltse LL, Bateman JG, Hutchinson RH et al. The paraspinous sacrospinal-splitting approach to the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am* 1968; 50: 919–926
- [20] Ray WZ, Ravindra VM, Schmidt MH et al. Stereotactic navigation with the O-arm for placement of S-2 alar iliac screws in pelvic lumbar fixation. *J Neurosurg Spine* 2013; 18: 490–495
- [21] Kach K, Trentz O. [Distraction spondylodesis of the sacrum in “vertical shear lesions” of the pelvis]. *Unfallchirurg* 1994; 97: 28–38
- [22] Letournel E. [Fractures of the cotyloid cavity, study of a series of 75 cases]. *J Chir (Paris)* 1961; 82: 47–87
- [23] Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR et al. Minimum 5-year analysis of L5–S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 303–308
- [24] Guerado E, Andrist T, Andrades JA et al. [Spinal arthrodesis. Basic science]. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2012; 56: 227–244
- [25] Guerado E, Fuerstenberg CH. What bone graft substitutes should we use in post-traumatic spinal fusion? *Injury* 2011; 42 (Suppl. 2): S64–S71
- [26] Guerado E, Cervan AM, Cano JR et al. Spinopelvic injuries. Facts and controversies. *Injury* 2018; 49: 449–456
- [27] Wahnert D, Raschke MJ, Fuchs T. Cement augmentation of the navigated iliosacral screw in the treatment of insufficiency fractures of the sacrum: a new method using modified implants. *Int Orthop* 2013; 37: 1147–1150
- [28] Rommens PM, Hofmann A. Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: recommendations for surgical treatment. *Injury* 2013; 44: 1733–1744

