



W. Dick¹ · M. Rickert²

¹ Orthopädische Universitätsklinik Basel, Basel, Schweiz

² Orthopädische Universitätsklinik Friedrichsheim, Frankfurt am Main, Deutschland

Geschichte des Fixateur interne

Seine spätere Bedeutung für die Wirbelsäulenchirurgie

Ursprünglich auf das Ziel einer Verbesserung der operativen Wirbelfrakturenbearbeitung ausgerichtet, stellte sich das damals neue biomechanische Wirkungsprinzip des Fixateur externe/Fixateur interne und seiner späteren Weiterentwicklungen seit den 1980er Jahren als ein nahezu universell nutzbares Stabilisierungsprinzip für die Wirbelsäule heraus, das heute in Form seiner verschiedenen Pedikelschrauben-Stab-Systeme der einzelnen Implantathersteller bei den unterschiedlichsten Diagnosen weltweite Anwendung findet.

Kurzer Abriss der Entstehungsgeschichte

Die 1970er Jahre

Ende der 1970er Jahre, als für die Extremitätenknochen bei Kontinuitätstrennung durch Frakturen oder Osteotomien längst bewährte Osteosyntheseverfahren zur Verfügung standen, die die Trias „reponieren – fixieren – funktionell beüben“ möglich machten, war für die Chirurgen, die sich mit Wirbelsäuleingriffen an der Stammwirbelsäule beschäftigten, weitgehend nur das Harrington-Stabsystem [9] bekannt. Entworfen für die Skolioseaufrichtung nach dem Wirkprinzip der „Distraction“ war es zur Wirbelfrakturenbearbeitung denkbar wenig geeignet, weil dabei je nach Frakturtyp kein Distractions-widerstand mehr vorhanden ist und über die dorsal an den Bögen angreifenden Haken prinzipiell eine kyphosierende Kraft auf die Wirbelsäule ausgeübt wird, bei Frakturen aber in der Regel eine

lordosierende Einwirkung nötig wäre. An der Brustwirbelsäule konnte bei sehr langer Instrumentation über den „Dreipunkteffekt“ der Stabmitte auf die fraktur-nahen Wirbelbögen eine gewisse kyphosemindernde Kraft aufgebracht werden; bei Frakturen der Lendenwirbelsäule oder des thorakolumbalen Übergangs war dies nicht möglich, weil ein mit diesem Ziel in Lordose vorgebogener Stab sich in den Haken um 180° drehte und erst recht die Kyphose förderte. Zudem waren die Montagen nicht bewegungsstabil, geringes Vorneigen oder Rumpfrotation konnte leicht zum Aushängen der Haken unter den Wirbelbögen mit komplettem Funktionsverlust des Implantats führen.

» Das Harrington-Stabsystem war zur Wirbelfrakturenbearbeitung wenig geeignet

Verbesserungsmöglichkeiten wurden gesucht: Jacobs et al. [10–12] stellten mit dem „locking hook spinal rod system“ eine Modifikation vor, die die Rotation der Haken zu blockieren erlaubte und damit ein lordosierendes Konturieren des Stabs möglich machte. Das leichte Aushängen der Haken sollte durch einen „Klemmdeckel“ verhindert werden (Abb. 1). Um bei einer operationswürdigen Wirbelfrakturenbearbeitung überhaupt eine gewisse reponierende und stabilisierende Wirkung zu bekommen, verlangte das System den Einbezug von je mindestens 2, besser je 3 Wirbeln oberhalb und unterhalb der Fraktur, also lange Versteifungsstrecken. Im Cotrel-Dubouset-System [3] war ebenfalls die Hakenrotation durch Madenschrauben

blockierbar, und es konnten beliebig viele Haken am Stab aufgereiht werden. Luque et al. [17–19] schlugen in der Skoliosechirurgie die Befestigung von Stäben an der Wirbelsäule durch um die Wirbelbögen geführte sublaminäre Drahtschlingen vor, aber alle diese Maßnahmen stellten keine Entwicklung zu einem wirksamen Repositions- und übungsstabilen Fixationssystem dar, weil Haken oder Drahtschlingen immer nur eine bewegliche Verbindung zwischen Implantat und Wirbelkörpern bewirken konnten und nicht ein stabiles Interface erreichen.

Der Fixateur externe

Einzig F. Magerl [20] in St. Gallen fand zu einem biomechanisch radikal anderen Repositions- und Fixierungsprinzip, indem er 1977 erstmals lange Schanz-Schrauben in eigenentworfener Technik perkutan transpedikulär in den unmittelbaren Nachbarwirbelkörpern der Fraktur stabil verankerte und sie zunächst mit den existierenden Fixateur-externe-Spannern für die Röhrenknochen außerhalb des Körpers mit einander *winkelstabil* verband, bis er mit dem Ingenieur R. Mathys einen ingenieusen Fixateur-externe-Rahmenspanner für die Wirbelsäule entwickelte. Durch das stabile Interface Knochen/Implantat waren über die Hebelarme der Schanz-Schrauben eine direkte reponierende Krafteinwirkung auf die Wirbelkörper und eine wesentlich höhere Stabilität erreichbar, und das Wegfallen des Dreipunktprinzips machte die bisherigen langen Versteifungsstrecken vermeidbar. Auch einen versenkbaren Spanner hatte Magerl bereits erwogen.



Abb. 1 ▲ „Locking hook spinal rod system“ („Jacobs rod“). (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

Pedikelschraube als Ankerpunkt

Der primäre Einsatz von Knochenschrauben im Bereich der Wirbelsäule geht auf King [13] und Boucher [2] zurück, wobei die Bogenwurzel hier noch nicht als Implantatlager diente, sondern im Rahmen der transartikulären Schraubenarthrodese von benachbarten Facettengelenken mit-erfasst wurde (■ **Abb. 2, 3**).

1970 beschrieben Roy-Camille et al. [22] im Rahmen von Frakturversorgungen das Einbringen von Schrauben in die Pedikel als Implantatlager. Dieses erhielt

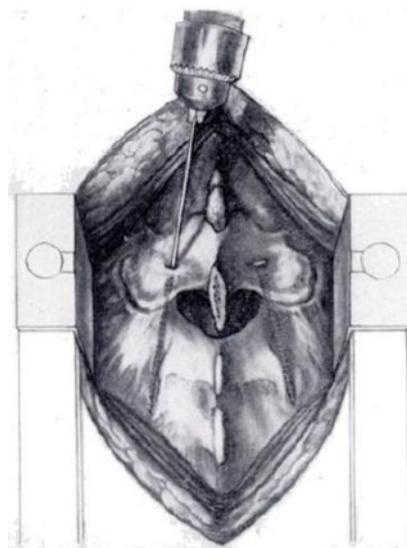


Abb. 2 ▲ Schraubenpositionierung im Rahmen der transartikulären Schraubenarthrodese von benachbarten Facettengelenken. (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der British Editorial Society of Bone & Joint Surgery)

dadurch einen stabilen Fixpunkt, um anschließend Platten wie in der Extremitätenchirurgie an der Wirbelsäule zu befestigen (Plattenspondylodese). Weil aber der Schraubenkopf mit dem Plattenloch keine winkelstabile Verbindung einging, war das Konstrukt biomechanisch weiterhin auf das Prinzip der Dreipunktwirkung und damit auf multisegmentale Montage angewiesen (■ **Abb. 4a, b**).

Erst durch die neue winkelstabile Art der Fixationstechnik, die zunächst hauptsächlich bei Frakturen der Wirbelkörper eingesetzt wurde, ergaben sich einige Vorteile zu den bisher verwendeten Bogen-Querfortsatz-Haken, Bogenverdrahtungen und konventionellen Platten: Durch die Möglichkeit der segmentalen Anwendung konnte nun die Strecke der zu instrumentierenden Wirbelkörper kürzer gehalten werden als mit den üblichen Techniken. Auch ermöglichte die Anwendung der Pedikelschraube, Korrekturkräfte in allen Ebenen des Raums auf den Wirbelkörper auszuüben [24] und damit auch bessere Korrekturmöglichkeiten des sagittalen und frontalen Profils. Zudem ergab sich eine verbesserte Stabilität hauptsächlich durch Verklemmung der Pedikelschraube in der kortikalen Röhre des Pedikels als auch durch Halt im spongiosen Knochen des Wirbelkörpers.

Mittlerweile findet die Pedikelschraube mit winkelstabiler Verbindung zu Stabsystemen für sämtliche Entitäten mit Notwendigkeit einer Korrektur der Wirbelsäule (Olisthesen, Skoliosen, Kyphosen) Anwendung.

Der Fixateur interne

Anforderungen und technische Lösung

Einen aus dem Rücken herausragenden Fixateur externe konnte insbesondere für die querschnittgelähmten Patienten im Paraplegikerzentrum Basel nicht als endgültige Version angesehen werden, vielmehr war eine technische Lösung zu suchen,

- die es erlaubte, in offener Operation durch lange Schanz-Schrauben als Pedikelschrauben in Magerl-Technik beidseitig eine stabile Verankerung des Implantats im Knochen der Nachbarwirbel der Fraktur zu erreichen,
- diese Schrauben dann mit einer vom Volumen her anatomieverträglichen Vorrichtung mit den Längsträgern auf beiden Seiten zu verbinden,
- dabei diese Verbindung so zu gestalten, dass sie sich der vorgegebenen Richtung der Schanz-Schrauben anpasse, auch anfänglich eine Beweglichkeit der Schanz-Schrauben in allen Richtungen des Raums zulasse, um manuell mit den langen Hebelarmen der Schanz-Schrauben die Wirbel in die gewünschte Position zur Reposition der Fraktur bringen zu können, und dass sich instrumentell ebenso Distraction wie Kompression ausüben lasse,
- danach die Winkelstellung der Schrauben zum Längsträger in allen Richtungen unverrückbar und dauerhaft solide zu blockieren und
- anschließend die überstehenden Hebelarme der Schanz-Schrauben abzutrennen und den Zugang wieder verschließen zu können [4].

Das technische Problem, das damit dem Ingenieur gestellt war, war groß und ohne direkte Vorläufer: Konnte es gelingen, die Funktion des im Vergleich dazu rie-

sigen äußeren Rahmenspanners auf dem geringen, anatomisch zur Verfügung stehenden Raum von ca. 1 cm³ unterzubringen und dennoch die gleiche Winkelstabilität in den kleinen Verbindungselementen für die Belastung bei der Mobilisation zu erzielen und lockerungsfrei über Monate zu halten, und das Ganze noch unter der Auflage, dass alle Manipulationen hierfür durch den anatomiebedingt vorgegebenen engen Weichteilzugang möglich sein mussten? Und natürlich sollte das Implantat nach der Bruchheilung auch wieder entfernbar sein.

» Das dem Ingenieur gestellte technische Problem war groß und ohne direkte Vorläufer

Die Ingenieurleistung gelang R. Mathys (Fa. Mathys/Bettlach, Schweiz) bereits mit dem Prototypen (▣ Abb. 5 und 6), und die erste klinische Implantation konnte durch den Autor des vorliegenden Beitrags im Dezember 1982 bei einem paraplegischen Patienten vorgenommen werden. Es bestätigte sich, dass sich der Fixateur gut in die Anatomie einpasste, die geforderte Stabilität aufwies und alle Bedienungsmanipulationen durch den üblichen medianen Zugang ausführbar waren. Nötig war nur noch die Konstruktion eines aufsteckbaren Bolzenschneiders aus 2 ineinander drehbaren Zylindern, die über einen Schermechanismus mühelos und ohne Grat die überstehenden langen Schäfte der Schanzschrauben abtrennten (▣ Abb. 7). Das Implantat wurde unter der Bezeichnung „Fixateur interne für die Wirbelsäule“ von der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen“ als AO-Implantat (wie üblich ohne Zusatz eines Eigennamens) aufgenommen und seine Anwendung in den damals neu aufkommenden AO-Wirbelsäulenkursen gelehrt. In der Rückschau ist zuzugeben, dass das häufige Umsetzen der Schraubenschlüssel beim Festziehen der zahlreichen Muttern – anatomiebedingt jeweils nur für eine Viertelumdrehung möglich – viel mühsamer war als das Blockieren bei den späteren Lösungen.

Unfallchirurg 2015 · [Suppl 1]: 118:S66–S72 DOI 10.1007/s00113-015-0089-5
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

W. Dick · M. Rickert

Geschichte des Fixateur interne. Seine spätere Bedeutung für die Wirbelsäulen Chirurgie

Zusammenfassung

Hintergrund. Rückschau auf die Wirbelsäulenimplantate der 1970-/1980er Jahre.

Fragestellung. Entwicklungsgeschichte des Fixateur interne in der Nachfolge des Fixateur externe.

Mechanisches Prinzip. Pedikelschrauben von dorsal her stabil in Wirbelkörpern der Brust- oder Lendenwirbelsäule oder des Sakrums verankert, mit einem Stab als Längsträger in frei wählbarem Abstand in jedem gewünschten und anfangs veränderbaren Winkel verbunden, nach dessen Blockierung winkel- und rotationsstabiles, voll versenktes beidseitiges Konstrukt zur Fixierung von 2 oder mehr Wirbelkörpern gegeneinander, deren Position über lange Hebelarme an den Pedikelschrauben manuell beeinflussbar ist.

Ergebnis. Erster Einsatz in vivo am Menschen am 22.12.1982 in Basel. Indikationsgebiet anfänglich instabile Wirbelfrakturen. Die in das neue Wirkprinzip und seine Verwirklichung im Fixateur interne gesetzten Erwartungen bestätigen sich, Kurzstreckenfixation ausschließlich der Nachbarwirbel und Sofort-

mobilisation der Patienten werden regelmäßig erreicht. Die Indikationen weiten sich auf Instabilitäten an der Wirbelsäule auch außerhalb der Traumatologie aus. Fortentwicklungen des Implantats und andere technische Lösungen der Kupplungselemente für das gleiche Grundprinzip in Richtung auf multi-segmentalen Einsatz, Bedienungsfreundlichkeit, Titanwerkstoff setzen international ein und werden zu universellen Wirbelsäulenstabilisierungssystemen ausgebaut für spinale Degenerationen, Deformitäten, Tumoren, Olisthesen.

Schlussfolgerung. Das Grundprinzip der Wirbelsäulenfixateure (interne und externe) ist in der Produktpalette der dorsalen Stabilisierungssysteme praktisch aller Hersteller weltweit enthalten und zur Selbstverständlichkeit geworden.

Schlüsselwörter

Wirbelsäulenimplantate · Fixateur interne · Pedikelschrauben · Biomechanik · Stabilisationsverfahren

History of internal fixators. The subsequent importance for spinal surgery

Abstract

Background. This article presents a retrospective look at spinal implants of the 1970s and 1980s.

Objective. The historical development of internal fixators as the successor to external fixators.

Mechanical principle. Pedicled screws are stably anchored in vertebral bodies of the thoracic or lumbar spine or the sacrum using a dorsal approach. They are joined by a rod as a longitudinal support, separated by freely selectable distances and in any desirable and initially modifiable angle. After locking this results in an angular and rotationally stable completely sunken bilateral construction for fixing two or more vertebrae together and the position can be manually adjusted using long lever arms on the pedicled screws.

Results. The first in vivo application in humans was on 22 December 1982 in Basel. The initial indications were unstable spinal fractures. The expectations placed on the new working principle of internal fixation and its realization were confirmed and short stretch fixation exclusively of the neighboring verte-

bra and immediate mobilization of patients could be routinely achieved. The indications were extended to include instability of the spine for conditions outside the field of traumatology. Further developments of implants and other technical solutions in the coupling system using the same basic principle in the direction of multisegmental applications, ease of operation and titanium-based materials became internationally established and were developed into universal spinal stabilization systems for spinal degeneration, deformities, tumors and olisthesis.

Conclusion. The basic principle of spinal fixators (internal and external) is contained in the complete product range of dorsal stabilizing implants from practically all manufacturers worldwide and has become taken for granted.

Keywords

Spinal implant · Internal fixator · Pedicled screws · Biomechanics · Stabilization procedure

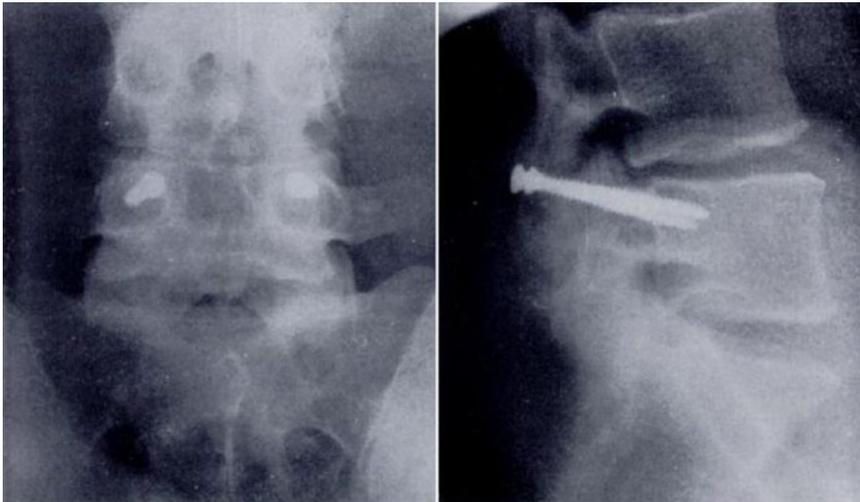


Abb. 3 ▲ Postoperatives Röntgenbild nach Fusion L4/5. (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der British Editorial Society of Bone & Joint Surgery)

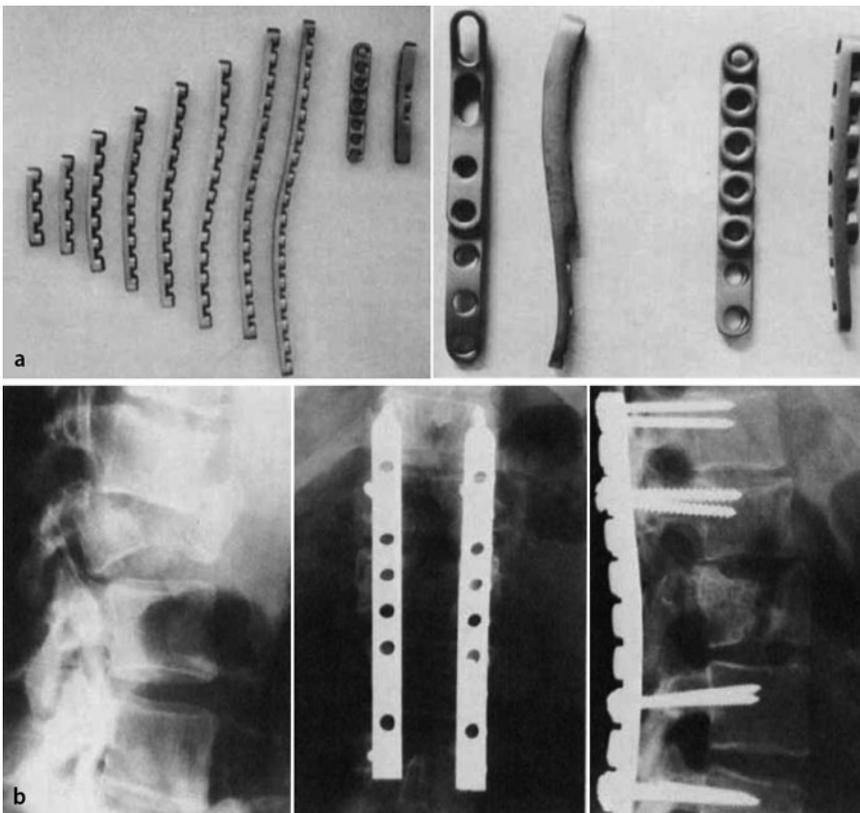


Abb. 4 ▲ **a** Instrumentarium mit teils vorgebogenen Platten. **b** Frakturversorgung LWK2 mittels Platten-spondylodese nach Roy-Camille. (Aus [21], mit freundl. Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc)

Eigene Erfahrungen

Die meisten in das Verfahren gesetzten Erwartungen bestätigten sich voll: anatomisch leichter Zugang für die Implantation und einfache Wiedererreichbarkeit zur Entfernung; keine Behinderung durch

das zuvor gesetzte Implantat bei evtl. notwendigem Eingehen in den Wirbelkanal zur Fragmententfernung oder zum Duraverschluss. Mithilfe der langen Hebelarme der Schanz-Schrauben konnten gute Repositionsergebnisse erzielt werden: alle translationalen Dislokationen bei den AO-

Typ-B- und -C-Verletzungen konnten reponiert werden [15], die Frakturkyphosen waren im Schnitt von einem "sagittal vertebral index" von 0,59 auf 0,86 aufrichtbar und zeigten kein sekundäres Nachsintern [15]. Die intraoperativ erreichte Stabilität war so solide und dauerhaft, dass nach vorsichtigeren Erstbehandlungen binnen Kurzem auf eine korsettfreie Sofortmobilisation der Patienten übergegangen werden konnte. Die Kurzstreckenfixation erwies sich als ausgesprochen förderlich für das funktionelle Rehabilitationsergebnis, insbesondere wenn der thorakolumbale Übergang oder die Lendenwirbelsäule betroffen waren, und ganz besonders bei paraplegischen Patienten.

» Fast alle in das Verfahren gesetzten Erwartungen bestätigten sich

Nicht erfüllt hat sich jedoch die Hoffnung, dass bei alleiniger Osteosynthese ohne Spondylodese nach Frakturheilung und Metallentfernung nach 9 bis 12 Monaten postoperativ die überbrückten Wirbelsegmente wieder so beweglich würden wie vorher: die Nachkontrolle zeigte, dass in den monatelang ruhiggestellten Bandscheiben meist keine nennenswerte Beweglichkeit mehr nachzuweisen war [16] und daher auf eine Routinemetallentfernung verzichtet werden konnte.

1980er Jahre

Wie intensiv in dieser Zeit aus Mangel an geeigneten Wirbelsäulenimplantaten nach innovativen Lösungen für einen Aufschwung des Zweigs „Wirbelsäulen-chirurgie“ international gesucht wurde, zeigt die Tatsache, dass praktisch zeitgleich, aber ohne voneinander zu wissen, verschiedene Entwickler am gleichen Problem arbeiteten. In den USA verbanden Steffee u. Biscup [23] Schrauben mit einer Platte winkelstabil und erreichten damit Kurzstreckigkeit, aber die Verbindung war nur exakt rechtwinklig und in bestimmten Abständen möglich und daher schwierig an die Anatomie anzupassen. In Frankreich setzten Roy-Camille et al. [21] ebenfalls Pedikelschrauben jedoch mit einer Platte ein, die eine variab-

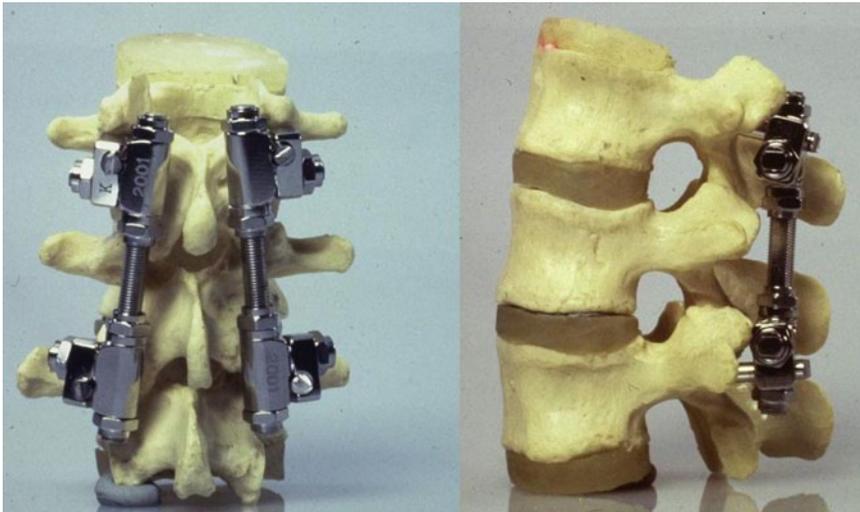


Abb. 5 ▲ Fixateur interne für die Wirbelsäule. (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

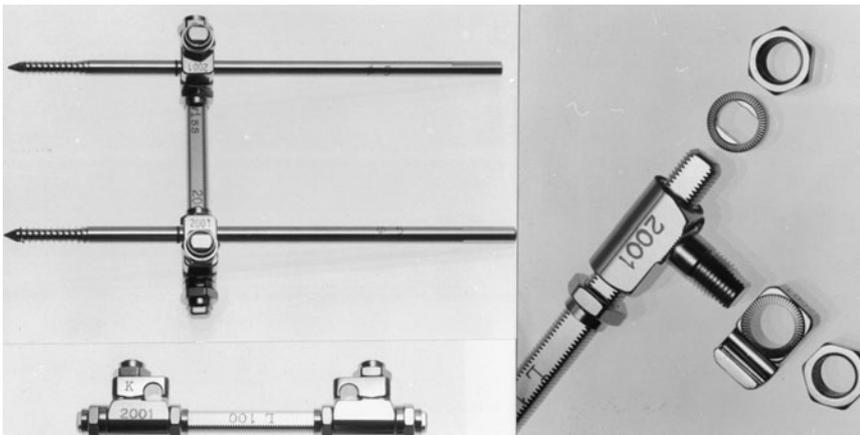


Abb. 6 ▲ Fixateur interne für die Wirbelsäule, Detailaufnahmen. (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

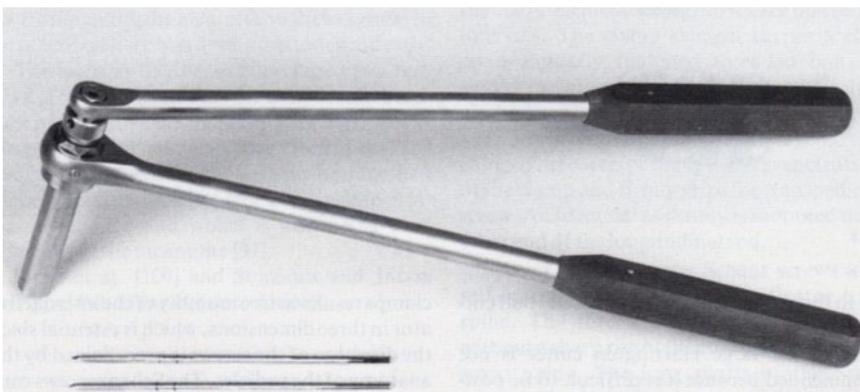


Abb. 7 ▲ Bolzenschneider für die Schanz-Schrauben des Fixateur interne. (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

le Schraubenrichtung, aber keine winkelstabile Blockierung erlaubte und daher nach dem Dreipunktprinzip mehr Wirbelsegmente einbeziehen musste. Parallel

hatten in Deutschland Kluger u. Gerner [14] zur gleichen Zeit einen Entwurf eines biomechanisch analogen Implantats fertiggestellt, aber noch keinen Hersteller –

so nutzten die Autoren zunächst den Fixateur interne von Mathys. Das AO-Implantat des Fixateur interne war nach Wissen des Autors der vorliegenden Publikation demnach das erste, das alle oben formulierten Teilziele erfüllte und zum klinischen Einsatz kam. Frühe Anwendungsbeispiele von 1983 bei instabilen Frakturen mit Routinemetalentfernung nach 10 Monaten zeigen die **Abb. 8** (LWK1-Fraktur, Paraplegie, 16-jähriger Patient) und **Abb. 9** (LWK3-Fraktur ohne neurologische Ausfälle, 21-jähriger Patient).

Weil „die Zeit dafür reif war“ und man lange nach entsprechenden Stabilisierungsmöglichkeiten gesucht hatte, kam es zur raschen Verbreitung des Fixateur interne, zumal sich seine Eignung auch außerhalb der Frakturbehandlung bei posttraumatischen Fehlstellungen, Tumoren und Metastasen, degenerativen Instabilitäten, Spondylolisthesen, lumbosakralen Fehlbildungen und „salvage procedures“ erwies [1, 5–7]. Innerhalb und außerhalb der AO wurde die technische Lösung weiterentwickelt, vielerorts bedienerfreundlich modifiziert und für die verschiedenen Indikationen zu universellen Wirbelsäulenfixationssystemen für den multisegmentalen Einsatz ausgebaut. Durch den Einsatz von Titan als Werkstoff wurden die Implantatverträglichkeit verbessert und auch die bildgebenden Möglichkeiten (MRT-Tauglichkeit) erweitert.

Aber das ursprüngliche Prinzip, Pedikelschrauben unbeweglich in den Wirbeln zu verankern, sie in jedem gewünschten und veränderbaren Winkel mit einem Längsträger zu verbinden und diese Verbindung winkelstabil festziehen zu können, ist mit unterschiedlichen technischen Lösungen noch heute, 3 Jahrzehnte später, als Grundprinzip in der Produktpalette der dorsalen Stabilisierungsimplantate praktisch aller Hersteller weltweit enthalten. Mittlerweile sind dieses Prinzip und dessen Anwendung so selbstverständlich geworden, dass kaum noch ein Anwender etwas von den Ausgangsorten St. Gallen/Basel/Bettlach weiß. Auch ist kaum noch bekannt, dass in den USA von der Food and Drug Administration (FDA) pedikelschraubenbasierte Implantate nach ihrem Aufkommen für viele Jahre nicht zum allgemeinen Gebrauch zugelassen waren und nur zöger-

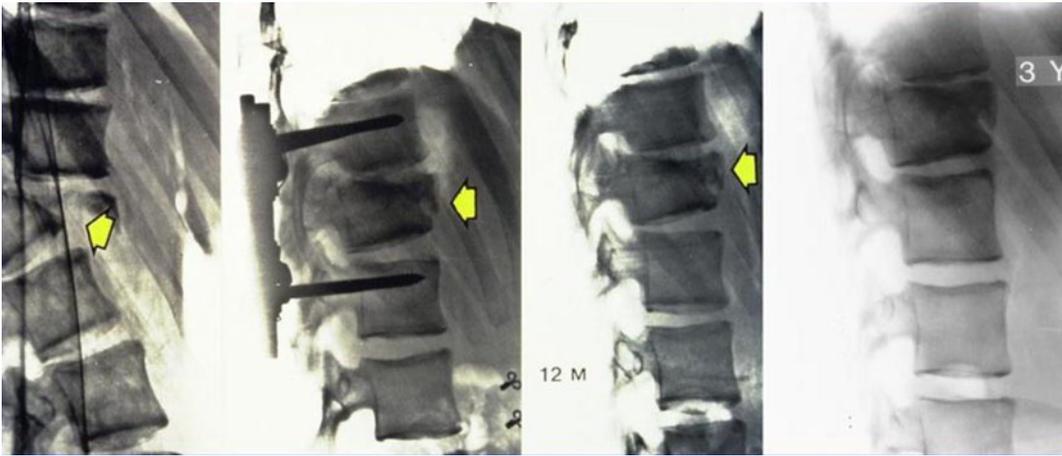


Abb. 8 ◀ Anwendungsbeispiel Fixateur interne 1983. (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

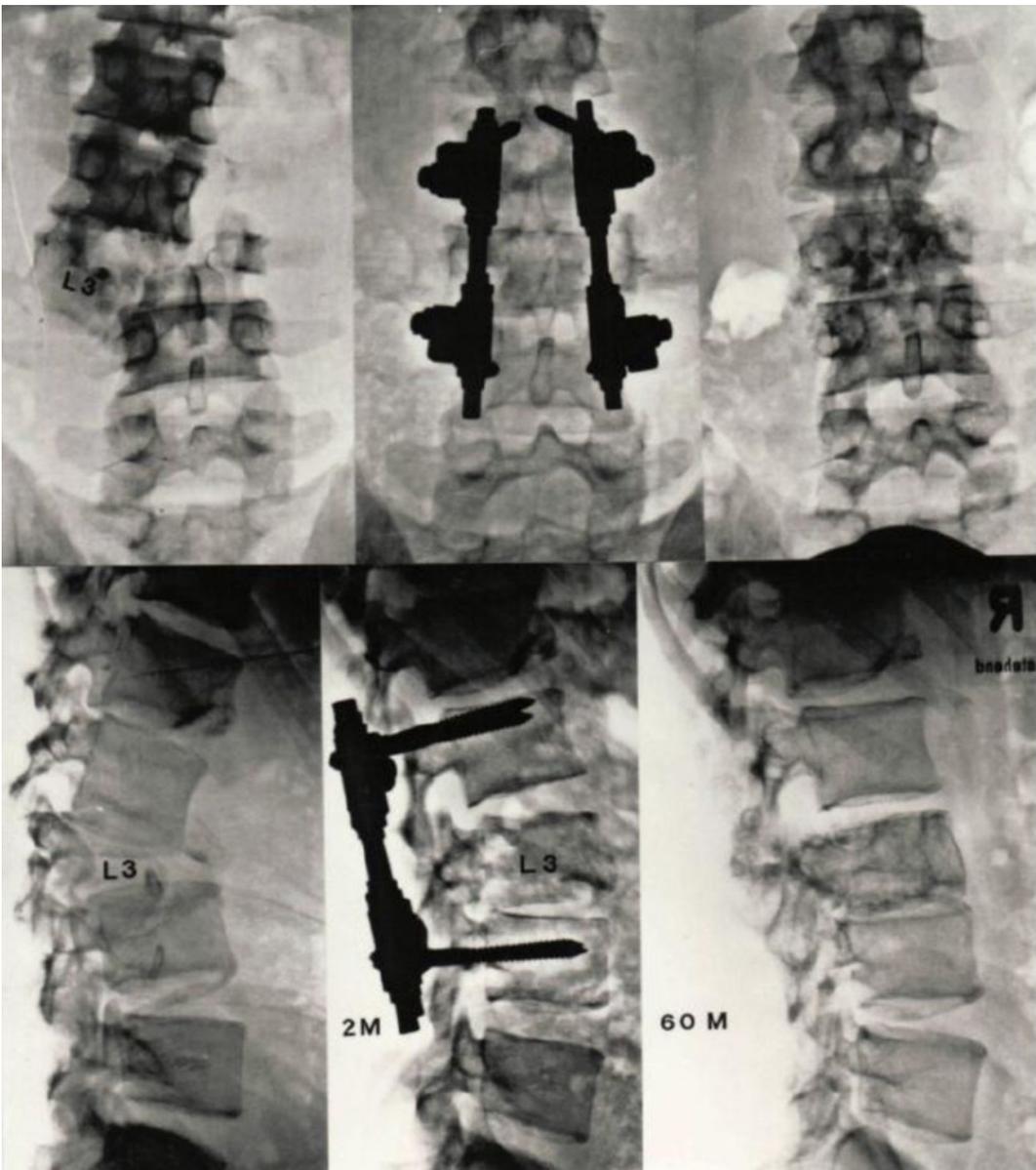


Abb. 9 ◀ Anwendungsbeispiel Fixateur interne 1983. (Aus [6], mit freundl. Genehmigung des Verlags Huber, Bern [Hogrefe AG])

lich zu Studienzwecken vereinzelte, regulierte Versuchsserien erlaubt wurden. Nur der Harrington-Stab und seine Modifikationen konnten dort verwendet werden und wurden noch lange publiziert [8].

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. W. Dick
Orthopädische
Universitätsklinik Basel
Missionsstr. 9, 4055 Basel
walter.dick@unibas.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. W. Dick und M. Rickert geben an, dass kein Interessenskonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

This article is part of a supplement sponsored by SIGNUS Medizintechnik GmbH.

Literatur

- Aebi M, Etter C, Kehl T, Thalgot J (1988) The internal skeletal fixation system. A new treatment of thoracolumbar fractures and other spinal disorders. *Clin Orthop Relat Res* 227:30–43
- Boucher HH (1959) A method of spinal fusion. *J Bone Joint Surg Br* 41-B(2):248–259
- Cotrel Y, Dubousset J (1984) A new technic for segmental spinal osteosynthesis using the posterior approach. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 70(6):489–494
- Dick W (1984) Osteosynthese schwerer Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule mit dem Fixateur interne. *Langenbecks Arch Chir* 364:343–346
- Dick W (1987) The „fixateur interne“ as a versatile implant for spine surgery. *Spine* 12(9):882–900
- Dick W (1987) Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen. 2., vollst. überarb. u. erg. Aufl. Verlag Hans Huber, Bern
- Esses SI (1989) The AO spinal internal fixator. *Spine* 14(4):373–378
- Gertzbein SD, Jacobs RR, Stoll J, Martin C, Marks P, Fazl M, Rowed D, Schwartz M (1990) Results of a locking-hook spinal rod for fractures of the thoracic and lumbar spine. *Spine* 15(4):275–280
- Harrington P (1962) Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 44-A:591–610
- Jacobs RR, Casey MP (1984) Surgical management of thoracolumbar spinal injuries. General principles and controversial considerations. *Clin Orthop Relat Res* 189:22–35
- Jacobs RR, Montesano PX (1988) Development of the locking hook spinal rod system. *Orthopedics* 11(10):1415–1421
- Jacobs RR, Asher MA, Snider RK (1980) Dorso-lumbar spine fractures: recumbent vs. operative treatment. *Paraplegia* 18(6):358–376
- King D (1948) Internal Fixation for lumbosacral fusion. *J Bone Surg* 30:560–567
- Kluger P, Gerner HJ (1986) Das mechanische Prinzip des Fixateur externe zur dorsalen Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurgie* 12:68–79
- Lindsey RW, Dick W (1991) The fixateur interne in the reduction and stabilization of thoracolumbar spine fractures in patients with neurologic deficit. *Spine* 16(3 Suppl):S140–S145
- Lindsey RW, Dick W, Nunchuck S, Zach G (1993) Residual intersegmental spinal mobility following limited pedicle fixation of thoracolumbar spine fractures with the fixateur interne. *Spine* 18(4):474–478
- Luque ER (1982) Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res* 163:192–198
- Luque ER (1982) The anatomic basis and development of segmental spinal instrumentation. *Spine* 7(3):256–259
- Luque ER, Cassis N, Ramirez-Wiella G (1982) Segmental spinal instrumentation in the treatment of the thoracolumbar spine. *Spine* 7(3):312–317
- Magerl FP (1984) Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop Relat Res* 189:125–141
- Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C (1986) Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res* 203:7–17
- Roy-Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C (1970) Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med* 78(32):1447–1448
- Steffee AD, Biscup RS (1986) Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 203:45–53
- Von Strempel A, Seidel T, Plitz W (1994) Stability of pedicle screws. 1: maximum pullout force in healthy bony spine trunks with reference to drilling technique. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 132(1):75–81. (German)