

# Dorsale Instrumentierung der Halswirbelsäule mit dem „neon occipito-cervical system“

Teil 2: Zervikale und zervikothorakale Instrumentierung

## Posterior Instrumentation of the Cervical Spine Using the Neon Occipito-Cervical System

Part 2: Cervical and Cervicothoracic Instrumentation

Marcus Richter<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

#### Operationsziel

Dorsale zervikale und zervikothorakale Stabilisierung, fallweise in Kombination mit einer dorsalen Spondylodese, nach geschlossener oder offener Reposition sowie in Kombination mit einer Dekompression.

#### Indikationen

Instabilitäten und Deformitäten rheumatischer, traumatischer, neoplastischer, infektiöser, iatrogen oder kongenitaler Genese.

Langstreckige zervikale Spinalstenose mit degenerativer Instabilität oder Kyphosierung des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts.

Korrekturspondylodesen bei posttraumatischen und postinfektiösen Kyphosen.

#### Kontraindikationen

Infektionen im Operationsbereich.

Fehlende Narkosefähigkeit.

#### Operationstechnik

Bauchlagerung, scharfe Kopffixation, z.B. mit Mayfield-Klemme. Gegebenenfalls geschlossene Reposition mit Röntgenbildverstärker im seitlichen Strahlengang. Dorsaler Zugang zu dem zu instrumentierenden Bereich in der Mittellinie. Falls notwendig, offene Reposition. Einbringen der zervikalen/hochthorakalen Schrauben. Nötigenfalls dorsale Dekompression. Instrumentierung mit vorgebogenen Längsträgern. Falls eine Fusion erzielt werden soll, Anfrischen der dorsalen knöchernen Strukturen mit der Fräse und Anlagerung von Spongiosa.

#### Ergebnisse

Von 08/2000 bis 08/2003 wurden 44 Patienten, 13 Frauen und 31 Männer, mit einem Durchschnittsalter von 57 Jahren operiert. Alle Patienten wurden nach 4–39 Monaten (im Durchschnitt 15,7 Monate) nachuntersucht. Bei allen Patienten mit dorsaler Spondylodese wurde eine Fusion erreicht: Kein Implantatversagen, keine Implantatentfer-

### Abstract

#### Objective

Posterior cervical and cervicothoracic stabilization, if necessary, in combination with posterior spondylodesis, after closed or open reduction as well as with or without neural decompression as clinically indicated.

#### Indications

Instabilities and deformities of rheumatoid, traumatic, neoplastic, infectious, iatrogenic or congenital origin.

Multilevel cervical spinal stenosis with degenerative instability or kyphosis of the affected spinal segment.

Corrective spondylodesis for posttraumatic or postinfectious kyphosis.

#### Contraindications

Infection in the operative field.

Inability to undergo anesthesia.

#### Surgical Technique

Prone position, rigid head fixation, e.g., with Mayfield tongs. If appropriate, closed reduction under lateral image intensification. Midline posterior surgical approach at the level of the segment to be instrumented. If necessary, open reduction. Insertion of the cervical/upper thoracic screws. If necessary, posterior decompression. Instrumentation with prebent longitudinal rods. If a fusion is to be obtained, decortication of the posterior bone elements with a burr and onlay of cancellous bone.

#### Results

44 patients, 13 women and 31 men, with an average age of 57 years were operated on between August 2000 and August 2003. All patients underwent a follow-up examina-

Oper Orthop Traumatol 2005;17:579–600

DOI 10.1007/s00064-005-1153-z

---

<sup>1</sup> Wirbelsäulenzentrum, St. Josefs-Hospital, Wiesbaden.

nung oder Revisionsoperation. Die präoperativ geplante Instrumentierung konnte intraoperativ in jedem Fall umgesetzt werden.

### **Schlüsselwörter**

Halswirbelsäule · Zervikothorakaler Übergang · Dorsale Instrumentierung · Implantatsystem · Pedikelschrauben

### **Vorbemerkungen**

Das neon®-Implantatsystem (Ulrich Medizintechnik, Ulrich GmbH & Co KG, Buchbrunnenweg 12, 89081 Ulm) und die allgemeinen Möglichkeiten des Implantatsystems wurden in Teil 1 dieser Arbeit ausführlich beschrieben [14]. Nachdem im ersten Teil die atlantoaxiale Instrumentierung besprochen wurde, beschäftigen wir uns in Teil 2 mit der dorsalen zervikalen und zervikothorakalen Instrumentierung.

Die stetige Weiterentwicklung der Implantatsysteme sowie die zunehmende Etablierung von Pedikelschrauben auch im zervikalen und hochthorakalen Bereich haben zu einer deutlichen Verbesserung der dorsalen Instrumentierung geführt [2, 3, 13]. Durch Computernavigationssysteme kann – wie im Bereich der lumbalen Wirbelsäule – die Fehlplatzierungsrate von Pedikelschrauben auch zervikal signifikant reduziert werden [12, 15, 16]. Die deutlich verbesserten biomechanischen Eigenschaften, insbesondere bei Verwendung von Pedikelschrauben mit einem winkelstabilen Implantatsystem [18], verringern die Rate von Implantatversagen, erlauben kürzere Instrumentierungsstrecken sowie den Verzicht auf eine zusätzliche ventrale Instrumentierung und reduzieren somit auch die Morbidität.

Die subaxiale zervikale Instrumentierung kann mit Massa-lateralis-Schrauben (nach Magerl oder An) oder Pedikelschrauben vorgenommen werden. Derzeit wird die subaxiale Instrumentierung mit Massa-lateralis-Schrauben in der Technik nach Magerl als Standardverfahren angesehen [6, 19]. Seit einigen Jahren empfehlen verschiedene Autoren auch zervikale Instrumentierungen (C2–C7) mit Pedikelschrauben und berichten über verbesserte biomechanische Ei-

tion 4–39 months (average 15.7 months) after the initial surgery. Fusion was achieved in all patients who had undergone a posterior spondylodesis: no implant failure, no implant removal or reoperation. The preoperatively planned instrumentation could be implemented intraoperatively in all patients.

### **Key Words**

Cervical spine · Cervicothoracic junction · Posterior instrumentation · Implant system · Pedicle screws

### **Introductory Remarks**

The neon® implant system (Ulrich Medizintechnik, Ulrich GmbH & Co KG, Buchbrunnenweg 12, 89081 Ulm, Germany) and the general possibilities of the implant system were described in detail in the first part of this paper [14]. After discussing atlanto-axial instrumentation in part 1, part 2 now deals with posterior cervical and cervicothoracic instrumentation.

The constant further refinement of the implant systems and the increasing acceptance of pedicle screws for the cervical and upper thoracic regions have led to marked improvement of posterior instrumentation [2, 3, 13]. As in the lumbar spine, the use of computer navigation systems can significantly reduce the rate of faulty positioning of pedicle screws in the cervical region [12, 15, 16]. The markedly improved biomechanical properties, particularly using pedicle screws with a fixed-angle implant system [18], reduce the rate of implant failure, allow instrumentation of fewer segments, obviate the need for additional anterior instrumentation and thus also reduce morbidity.

Subaxial cervical instrumentation can be performed with lateral mass screws (technique of Magerl or An) or pedicle screws. Currently, subaxial instrumentation with lateral mass screws using Magerl's technique is regarded as the gold standard [6, 19]. For some years various authors have also been recommending cervical instrumentation (C2–C7) with pedicle screws and have reported improved biomechanical properties and clinical outcomes compared with lateral mass screws [1, 2, 4, 8, 11]: the pull-out force for pedicle screws was more than double [10] and the biomechanical stability of the instrumentation considerably greater [11]. Pedicle screws are therefore a viable alternative particularly

genschaften und klinische Ergebnisse im Vergleich zu Massa-lateralis-Schrauben [1, 2, 4, 8, 11]: Die Ausreißkraft für Pedikelschrauben war mehr als doppelt so hoch [10] und die biomechanische Stabilität der Instrumentierung deutlich erhöht [11]. Pedikelschrauben stellen daher besonders bei schlechter Knochenqualität oder höherer Implantatbelastung, wie z.B. durch mehrsegmentale Instabilitäten, instabile Verletzungen des zervikothorakalen Übergangs, Frakturen bei Spondylitis ankylosans oder insuffiziente ventrale Abstützung, eine sinnvolle Alternative dar [10]. Dies unterstreichen auch Berichte über Implantatlockerungen nach Instrumentierungen der Massae laterales, die in Korrekturverlusten und Pseudarthrosen endeten [5, 7]. Für die hochthorakale Instrumentierung sind Pedikelschrauben die Technik der Wahl. Alternativen wie Querfortsatzschrauben oder Lamina- und Pedikelhaken haben deutlich schlechtere biomechanische Eigenschaften und sollten daher nur in Ausnahmefällen verwendet werden.

where there is poor bone quality or greater strain on the implant, e.g., in instances of multisegmental instabilities, unstable injuries of the cervicothoracic junction, fractures in ankylosing spondylitis or insufficient anterior support [10]. In addition, there are reports of implant loosening after instrumentation of the lateral mass which resulted in loss of correction and subsequent nonunion [5, 7]. Pedicle screws are the technique of choice for upper thoracic instrumentation. Alternatives such as transverse process screws or laminar and pedicle hooks have distinctly inferior biomechanical properties and should therefore only be used as an exception.

### Operationsprinzip und -ziel

Dorsale Instrumentierung und Fusion mit Hilfe eines modularen, winkelstabilen Implantatsystems nach geschlossener oder offener Reposition bei Instabilitäten oder Fehlstellungen. Bei einer Einengung des Spinalkanals mit symptomatischer Myelomkompression oder nicht reponierbaren Fehlstellungen wird ggf. zusätzlich eine Dekompression notwendig. Bei Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen und eingeschränkter Lebenserwartung ist eine Fusion jedoch nicht notwendig, und die Instrumentierung reicht aus.

### Surgical Principles and Objective

Posterior instrumentation and fusion using a modular, angle-stable implant system after closed or open reduction for management of instabilities or deformities. If there is stenosis of the spinal canal with symptomatic cord compression or irreducible deformities, additional decompression may be necessary. In patients with spinal metastases and a limited life expectancy, instrumentation alone without fusion may be sufficient.

### Vorteile

- Verbesserte biomechanische Stabilität im Vergleich mit anderen Implantatystemen durch
  - hohe Winkelstabilität der Schrauben-Stab-Verbindung;
  - Stabdurchmesser 4,5 mm: Durch die Erhöhung des Stabdurchmessers von den im zervikalen Bereich üblichen 3,5 mm auf 4,5 mm erhöht sich die Biegefestigkeit des Stabs um mehr als 100%;
  - kanülierte 4,0-mm-Pedikelschrauben für den zervikalen Bereich;
  - kanülierte 5,0-mm-Pedikelschrauben für den hochthorakalen Bereich;
  - 3,5-mm-Massa-lateralis-Schrauben.

### Advantages

- Improved biomechanical stability compared with other implant systems thanks to
  - high angular stability of the screw-rod connection;
  - rod diameter 4.5 mm: the increase in the rod diameter to 4.5 mm instead of the 3.5 mm usually used in the cervical spine increases the bending strength of the rod by more than 100%;
  - cannulated 4.0-mm pedicle screws for the cervical region;
  - cannulated 5.0-mm pedicle screws for the upper thoracic region;
  - 3.5-mm lateral mass screws.

- Einfache und universelle Anwendbarkeit durch
  - große Winkelvariabilität der Schrauben-Stab-Verbindung;
  - einfache Instrumentierung durch verschiedene Schrauben-Stab-Verbinder, polyaxiale Verbinder und zwei verschiedene Spacer;
  - Kanülierung der zervikalen/thorakalen Schrauben;
  - mögliche Anbindung der Instrumente an Computernavigationssysteme;
  - Reduktion der notwendigen Stabbiegung durch verschiedene Schrauben-Stab-Verbinder, polyaxiale Verbinder und zwei verschiedene Spacer;
  - Instrumentarium zur perkutanen Instrumentierung mit Pedikelschrauben.
- Reduktion der Zugangsgröße und -morbidity durch perkutanes Einbringen der Pedikelschrauben.
- Zuverlässige Beseitigung von Instabilitäten und Herbeiführen einer Fusion mit Beseitigung von Schmerzen und Funktionsstörungen.

#### **Nachteile**

- Bei langstreckigen Stabilisierungen können das Anbiegen und Fixieren des Stabs an den Schrauben schwierig sein.

#### **Indikationen**

- Traumatische Instabilitäten: Zervikale und zervikothorakale Frakturen bei Patienten mit Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew), instabile Verletzungen des zervikothorakalen Übergangs, verhakete und von ventral irreponible Luxationen, multisegmentale Frakturen und Instabilitäten (mehr als zwei Segmente).
- Neoplastische Instabilitäten mit/ohne Myelonkompression: Stabilitätsgefährdende oder das Myelon komprimierende Metastasen oder Primärtumoren.
- Degenerative Erkrankungen: Multisegmentale zervikale spondylotische Myelopathie (CSM).
- Spondylodiszitis.
- Rheumatische Instabilität.
- Postoperative Instabilitäten, z.B. nach Laminektomien.
- Posttraumatische und postinfektiöse Kyphosen.

#### **Kontraindikationen**

- Infektionen im Operationsbereich.
- Fehlende Narkosefähigkeit.

#### **Patientenaufklärung**

- Allgemeine Operationsrisiken, wie Infektion, Wundheilungsstörung, Nachblutung, Thrombose, Embolie.

- Simple and universal applicability thanks to
  - great angular variability of the screw-rod connection;
  - simple instrumentation through different screw-rod connectors, polyaxial connectors and two different spacers;
  - cannulation of the cervical/thoracic screws;
  - possibility of connecting the instruments to a computer navigation system;
  - reduced need for rod bending due to a number of different screw-rod connectors, polyaxial connectors and two different spacers;
  - instruments for percutaneous instrumentation with pedicle screws.
- Percutaneous insertion of the pedicle screws allows shorter surgical incision and reduces morbidity.
- Reliable achievement of stability and fusion with elimination of pain and functional impairment.

#### **Disadvantages**

- In the case of multilevel stabilization contouring of the rod and securement of the rod to the screws can be difficult.

#### **Indications**

- Traumatic instabilities: cervical and cervicothoracic fractures in patients with ankylosing spondylitis (Bekterev's disease), unstable injuries of the cervicothoracic junction, locked and anteriorly irreducible dislocations, multisegmental fractures and instabilities (more than two segments).
- Instabilities due to neoplasia with/without cord compression: metastases or primary tumors endangering stability or compressing the cord.
- Degenerative diseases: multisegmental cervical spondylotic myelopathy (CSM).
- Spondylodiscitis.
- Rheumatoid instability.
- Postoperative instabilities, e.g., after laminectomy.
- Posttraumatic and postinfectious kyphoses.

#### **Contraindications**

- Infection at the operative site.
- Inability to undergo anesthesia.

#### **Patient Information**

- General operative risks such as infection, impaired wound healing, postoperative bleeding, thrombosis, embolism.
- Injury to spinal cord, nerve roots or vertebral artery.

- Verletzung von Myelon, Nervenwurzeln oder Arteria vertebralis.
- Implantatversagen: Korrekturverlust, Implantatlockerung, Implantatbruch, Implantatdislokation.
- Bei schlechtem Schraubenhalt kann eine langstreckigere Instrumentierung notwendig werden.
- Revisionsoperation wegen Pseudarthrose, Implantatversagen, Infektion oder anderer Komplikationen.
- Postoperative Einschränkung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule (HWS) in Abhängigkeit von Art und Länge der Läsion und Instrumentierung.

### Operationsvorbereitungen

- Klinische Untersuchung, neurologischer Status.
- Bildgebende Diagnostik: Nativröntgen in zwei Ebenen, seitliche und ggf. anteroposteriore Funktionsaufnahmen; CT und/oder MRT.
- Präoperative Operationsplanung mit Planungs-CT und multiplanaren Rekonstruktionen: Beurteilung des Verlaufs der Arteria vertebralis, Planung der Richtung und Länge der Schrauben.
- Gegebenenfalls Rasur am Operationstag auf Station.
- Während der Lagerung intravenöse Antibiotikaprophylaxe mit Cephalosporin der dritten Generation, bei längeren Operationszeiten nach jeweils 4 h wiederholen.

### Instrumentarium und Implantate

- Bei der folgenden Darstellung verweisen wir auf Teil 1 dieser Arbeit [14]; hier werden nur die zusätzlichen Implantate und Instrumente beschrieben.

#### neon-Implantate für die zervikale und hochthorakale Instrumentierung (Abbildungen 1a und 1b)

- neon-5,0-mm-Schraube als hochthorakale Pedikelschraube: Selbstschneidend, kanüliert, Durchmesser 5,0 mm, Farbe silber, Längen 30–50 mm (Abstufung 5 mm). Die Schrauben können über einen 1,5-mm-Führungsdraht nach Vorbohren mit einem 3,5-mm-Bohrer implantiert werden. Im Schraubenkopf befindet sich im Winkel von 15° zur Schraubenachse eine Gewindebohrung für den Montagestift.
- neon-4,0-mm-Schraube als zervikale oder hochthorakale Pedikelschraube: Selbstschneidend, kanüliert, Durchmesser 4,0 mm, Farbe silber, Längen 22–50 mm (Abstufung 2 mm). Die Schrauben können über einen 1,5-mm-Führungsdraht nach Vor-

- Implant failure: loss of correction, implant loosening, implant breakage, implant displacement.
- In the case of poor screw purchase instrumentation of more segments may be necessary.
- Revision surgery because of pseudarthrosis, implant failure, infection or other complications.
- Postoperative restriction of cervical spine mobility depending on the type and length of the lesion and instrumentation.

### Preoperative Work Up

- Clinical assessment including neurologic status.
- Imaging procedures: plain radiographs in two planes, flexion-extension radiographs, and, if necessary, anteroposterior lateral bending radiographs; CT and/or MRI.
- Preoperative planning based on CT and multiplanar reconstructions: evaluation of the course of the vertebral artery, planning of the direction and length of the screws.
- If necessary, preoperative shaving.
- During anesthesia induction, intravenous antibiotic prophylaxis with third-generation cephalosporin, repeated every 4 h in the case of longer operating times.

### Surgical Instruments and Implants

- Only the implants and instruments not already described in part 1 of this paper [14] are presented here.

#### neon Implants for Cervical and Upper Thoracic Instrumentation (Figures 1a and 1b)

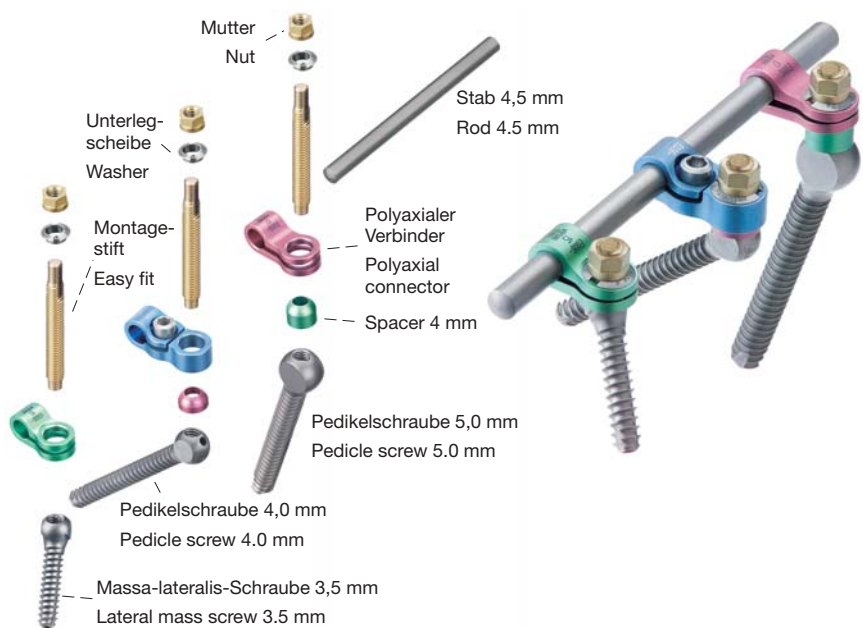
- neon 5.0-mm screw as upper thoracic pedicle screw: self-tapping, cannulated, diameter 5.0 mm, color silver, lengths 30–50 mm (in 5-mm increments). The screws can be inserted over a 1.5-mm guide wire after predrilling with a 3.5-mm drill bit. At an angle of 15° to the screw axis, the screw head contains a threaded bore for insertion of the neon easy fit.
- neon 4.0-mm screw as cervical or upper thoracic pedicle screw: self-tapping, cannulated, diameter 4.0 mm, color silver, lengths 22–50 mm (in 2-mm increments). The screws can be inserted over a 1.5-mm guide wire after drilling with a 3.5-mm drill bit. At an angle of 15° to the screw axis, the screw head contains a threaded bore for insertion of the neon easy fit.
- neon 3.5-mm screw as cervical lateral mass screw: self-tapping, noncannulated, diameter 3.5 mm, color silver, lengths 10–20 mm (in 2-mm increments).

**Abbildung 1a**

Implantatkomponenten neon für die zervikale und zervikothorakale Instrumentierung (links als Explosionszeichnung, rechts als komplette Instrumentierung).

**Figure 1a**

neon implant components for cervical and cervicothoracic instrumentation (left magnified drawing, right complete instrumentation).

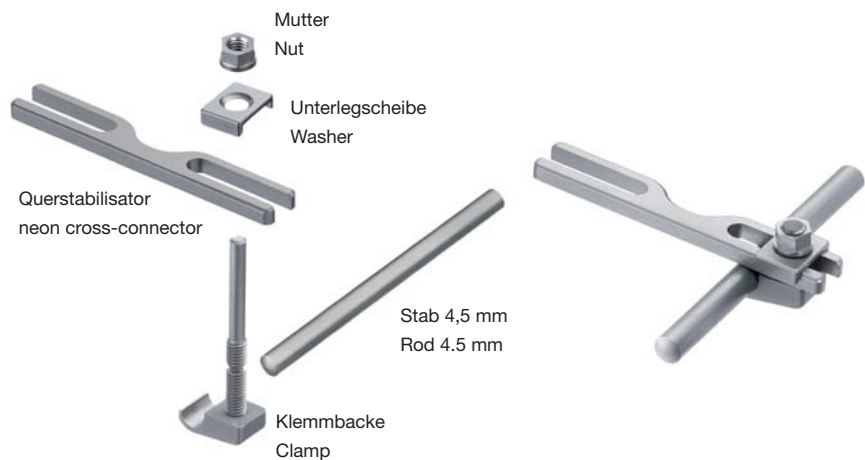


**Abbildung 1b**

Quersystem neon für die zervikale und zervikothorakale Instrumentierung (links als Explosionszeichnung, rechts als komplette Instrumentierung).

**Figure 1b**

Neon cross-connector for cervical and cervicothoracic instrumentation (left magnified drawing, right complete instrumentation).



bohren mit einem 3,5-mm-Bohrer implantiert werden. Im Schraubenkopf befindet sich im Winkel von 15° zur Schraubenachse eine Gewindebohrung für den Montagestift.

- neon-3,5-mm-Schraube als zervikale Massa-lateralis-Schraube: Selbstschneidend, nicht kanüliert, Durchmesser 3,5 mm, Farbe silber, Längen 10–20 mm (Abstufung 2 mm). Die Schrauben können nach Vorbohren mit einem 2,6-mm-Bohrer implantiert werden. Im Schraubenkopf befindet sich im Winkel von 45° zur Schraubenachse eine Gewindebohrung für den Montagestift.
- Polyaxiale Verbinder zur winkelstabilen polyaxialen Verbindung zwischen Schraube und Stab: Drei

The screws can be inserted after drilling with a 2.6-mm drill bit. At an angle of 45° to the screw axis, the screw head contains a threaded bore for insertion of the neon easy fit.

- Polyaxial neon connector for fixed-angle polyaxial rod/screw fitting: three different lengths for easy instrumentation and to reduce the need to bend the rod in the frontal plane, color-coded, 15 mm (green), 17 mm (red) and 19 mm (blue, with additional locking screw to increase stability), consisting of connector, asymmetric washer and locking nut.
- Cross-connector (Figure 1b) to increase primary stability in the case of multisegment instrumenta-

verschiedene Längen für eine einfache Instrumentierung und möglichst geringe Stabbiegung in der Frontalebene, farbkodiert, 15 mm (grün), 17 mm (rot) und 19 mm (blau, mit zusätzlicher Klemmschraube zur Erhöhung der Stabilität), bestehend aus Verbinder, asymmetrischer Unterlegscheibe und Fixiermutter.

- Querverbinder (Abbildung 1b) zur Erhöhung der Primärstabilität bei langstreckigen Instrumentierungen, hochgradigen Instabilitäten und hohen Anforderungen an die Stabilität der Instrumentierung: Besteht aus Klemmbacke, Unterlegscheibe, Mutter und Querstabilisator.

#### neon-Instrumente

- Bohrhülse mit Längeneinstellung: Besteht aus Griffstück, Tiefenanschlag, Sicherungsmutter und 3,5-mm-Bohreinsatz (für 5-mm-Schrauben) sowie Adapter für ein CAS-System („computer-assisted surgery“).
- Bohrer mit AO-Ansatz: 3,5 mm, mit Tiefenanschlag, für 5-mm-Schrauben.

#### Anästhesie und Lagerung (Abbildung 2)

- Allgemeinanästhesie, endotracheale Intubation, Muskelrelaxation.
- Zunächst in Rückenlage nach Desinfektion Anbringen der Mayfield-Klemme ca. zwei Querfinger oberhalb des Porus externus. Eine Lagerung ohne scharfe Fixation des Kopfes auf einer Kopfschale ist auch möglich, aber nicht zu empfehlen, da die Repositionsmöglichkeiten mit Kopfschale eingeschränkt sind.
- Umlagerung in Bauchlage auf Gelmatte, Unterlagerung von Thorax und Becken mit Schaumstoffkissen, Fixation der Arme mit Pflasterzügelverband, kontinuierlicher Armzug über Rollensystem mit 2–3 kg.
- Unter Bildverstärkerkontrolle nötigenfalls geschlossene Reposition und nach Möglichkeit schon präoperativ Einstellung des gewünschten sagittalen Profils des zu instrumentierenden Wirbelsäulenabschnitts.
- Steriles Abwaschen und Abdecken mit Bildverstärker im seitlichen Strahlengang.

**Abbildung 2**  
Lagerung des Patienten.

**Figure 2**  
Patient positioning.

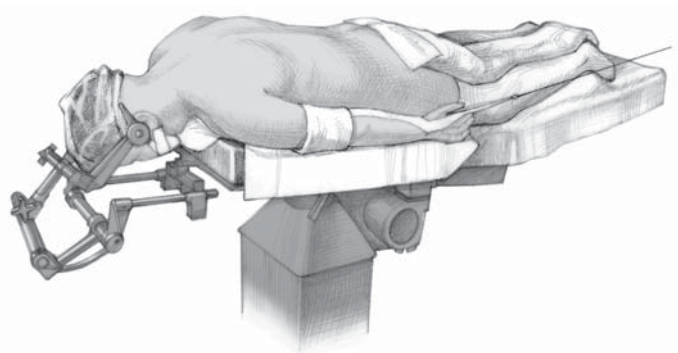
tion, severe instability or if particularly high demands are placed on the stability of the instrumentation: consists of locking clamp, washer, hex nut and neon cross-connector.

#### neon Instruments

- Tissue protector with adjustment for drilling depth: consisting of handle, depth stop, locking nut and 3.5-mm adapter (for 5-mm screws) and adapters for a CAS (computer-assisted surgery) system.
- AO drill bit: 3.5 mm with depth stop, for 5-mm screws.

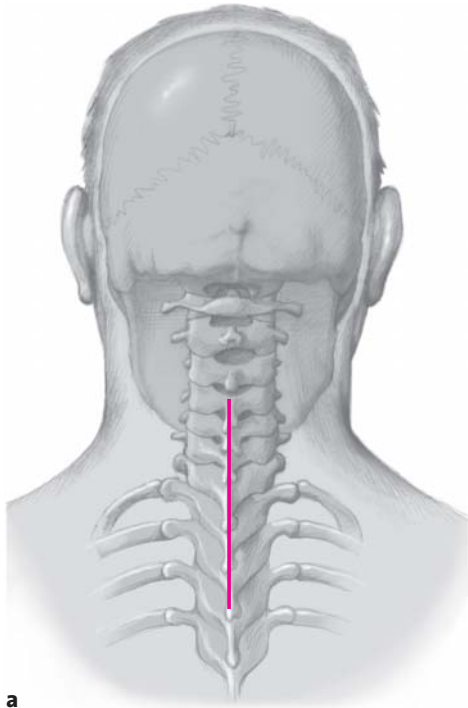
#### Anesthesia and Positioning (Figure 2)

- General endotracheal anesthesia with muscle relaxation.
- At the start, supine position, prepping, and attachment of the Mayfield skull tongs approximately 2 cm above the external auditory meatus. Positioning on a head rest without rigid fixation of the head is also possible but is not recommended, as the possibilities of reduction are limited in this case.
- Turning into a prone position on a gel-filled mattress, support of thorax and pelvis with foam pillows, stabilization of both arms with adhesive tape, continuous arm traction via a pulley system with 2- to 3-kg weights.
- Under image intensification, closed reduction, if necessary. Preoperatively, the image intensifier should be positioned for optimal sagittal views for instrumentation.
- Prepping and draping with the image intensifier adjusted to the sagittal plane.



## Operationstechnik

Abbildungen 3 bis 10



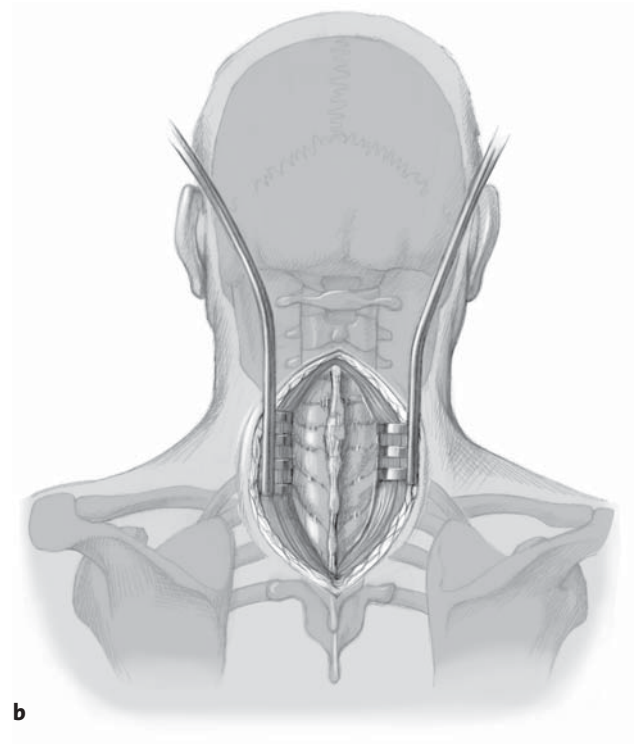
### Abbildungen 3a und 3b

#### Zugang.

Nach sterilem Abwaschen, Abdecken und Aufbringen der Operationsfolie medianer Hautschnitt zentriert über dem zu instrumentierenden Bereich (a). Inzision der Faszie mit Elektromesser oder Ultraschallskalpell; anschließend subperiostale Darstellung des dorsalen Aspekts des zu instrumentierenden Wirbelsäulenabschnitts mit Ultraschallskalpell oder Raspatorium und ausgezogenen Kompressen (b).

## Surgical Technique

Figures 3 to 10



### Figures 3a and 3b

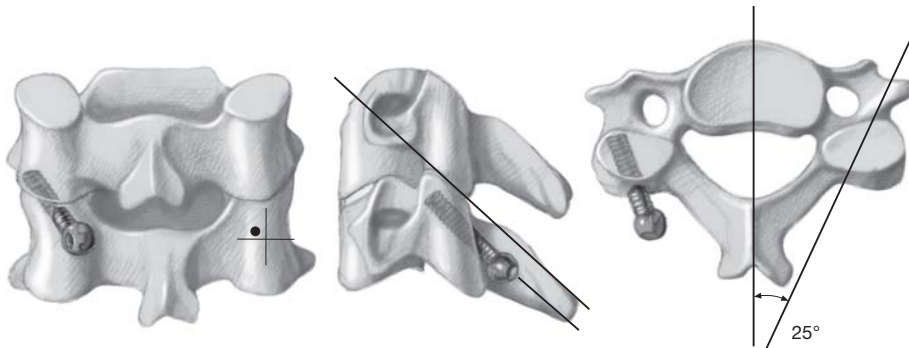
#### Surgical approach.

After prepping, draping, and application of antibacterial, transparent adhesive film (OP-Site®), a median skin incision is centered over the region to be instrumented (a). The fascia is divided with cautery knife or ultrasonic scalpel followed by subperiosteal exposure with an ultrasonic scalpel or Cobb elevator and unfolded compresses of the posterior aspects of the spinal segments to be instrumented (b).



Vor der Beschreibung der einzelnen Operationsschritte sollen zunächst Lage und Implantationstechnik von Massa-lateralis-Schrauben und Pedikelschrauben erklärt werden (Abbildungen 4 bis 6).

Before describing the various surgical steps, we will first explain the position and insertion technique for lateral mass screws and pedicle screws (Figures 4 to 6).



**Abbildung 4**

*Schraubenplatzierung in der Massa lateralis nach Magerl:* Diese Technik gilt aufgrund des für zervikale Verhältnisse geringen Risikos einer Fehlplatzierung derzeit als Standardtechnik für die dorsale Instrumentierung der HWS von C3 bis C7 [9]. Der Eintrittspunkt der Schraube liegt 1–2 mm medial und kranial vom Zentrum der Massa lateralis. Die Schraube soll 20–30° nach lateral divergierend und parallel zum Gelenkspalt des darüberliegenden Intervertebralgelenks in Richtung der anterolateralen Begrenzung des oberen Gelenkfortsatzes eingebracht werden. Auf diese Weise ist eine möglichst große Schraubenlänge bei geringem Risiko der Verletzung neuraler oder vaskulärer Strukturen möglich. Die durchschnittliche Schraubenlänge beträgt 14–18 mm. Als Standardschraube wird die selbstschneidende 3,5-mm-neon-Massa-lateralis-Schraube (Abbildung 1a) verwendet.

**Figure 4**

*Screw placement in the lateral mass using the technique described by Magerl:* on account of the low risk of faulty positioning of screws this technique is currently regarded as the gold standard for posterior instrumentation of the cervical spine from C3 to C7 [9]. The entry point of the screw is 1–2 mm medial and cranial to the center of the lateral mass. The screw should be inserted with a lateral inclination of 20–30° and parallel to the space of the cranial intervertebral joint in the direction of the anterolateral margin of the upper articular process. This allows a maximum screw length with low risk of injury to neurovascular structures. Average screw length is 14–18 mm. The self-tapping 3.5-mm neon lateral mass screw (Figure 1a) is used as standard screw.



**Abbildung 5**

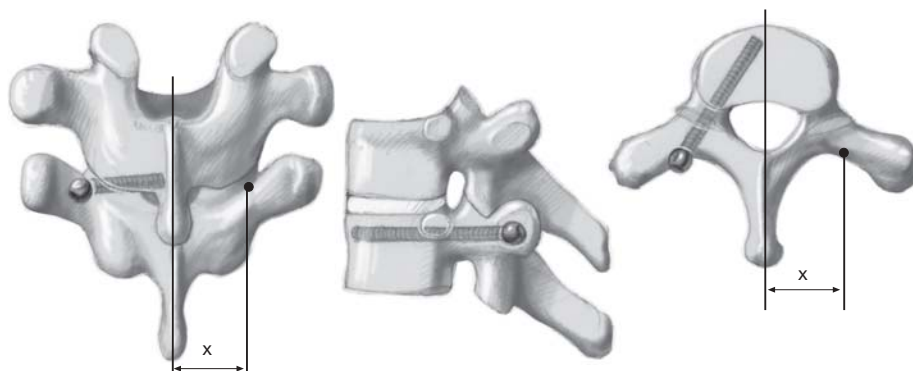
*Transpedikuläre Schraubenplatzierung C3–C7:* Die Instrumentierung mit Pedikelschrauben führt zu einer deutlich erhöhten Primärstabilität im Vergleich zur Instrumentierung mit Massa-lateralis-Schrauben. Die Ausreißfestigkeit von Pedikelschrauben ist im Vergleich zu Massa-lateralis-Schrauben mehr als doppelt so hoch. Die durchschnittliche Schraubenslänge beträgt 26–34 mm. Allerdings besteht ein erhöhtes Risiko der Schraubenfehllage mit der Möglichkeit einer Verletzung der Arteria vertebralis (oberhalb von C7) oder neuraler Strukturen. Zur Bestimmung der Eintrittspunkte der Pedikelschrauben sollte präoperativ eine Computertomographie mit multiplanaren Rekonstruktionen der Pedikel der zu instrumentierenden Wirbel durchgeführt werden. Mit Hilfe der multiplanaren Rekonstruktionen können präoperativ der Schraubeneintrittspunkt, der Inklinationswinkel und die Länge der Schraube festgelegt werden. Bei einer Pedikelweite < 3,5 mm sollte möglichst auf die Verwendung von Pedikelschrauben verzichtet werden.

Im Allgemeinen liegt der Eintrittspunkt von C3 bis C7 knapp unterhalb der kaudalen Gelenkfacette des kranialen Wirbels weit lateral. Die Konvergenz der Schrauben beträgt im Durchschnitt 40–50°, kann aber im Einzelfall deutlich abweichen. Bei kurzstreckiger Instrumentierung und geringer Zugangsgröße ist zum Erreichen der notwendigen Konvergenz die perkutane Schraubeneinbringung sinnvoll. Als Standard-schraube wird die selbstschneidende, kanülierte 4,0-mm-neon-Pedikelschraube verwendet (Abbildung 1a).

**Figure 5**

*Transpedicular screw placement C3–C7:* instrumentation with pedicle screws produces considerably greater primary stability compared with instrumentation with lateral mass screws. The pull-out strength of pedicle screws is more than double that of lateral mass screws. Average screw length is 26–34 mm. However, there is an increased risk of screw faulty positioning with the possibility of injury to the vertebral artery (above C7) or nerve structures. To determine the entry points of the pedicle screws, computed tomography with multiplanar reconstructions of the pedicle of the vertebra to be instrumented should be performed preoperatively. With the help of the multiplanar reconstructions the entry point, angular orientation and length of the screw can be determined preoperatively. Pedicle screws should not be used if the pedicle width is < 3.5 mm.

Generally, the screw entry point for C3 to C7 is very lateral and just below the caudal joint facet of the cranial vertebra. The convergence of the screws is 40–50° on average but can deviate considerably from this in individual cases. If the segment to be instrumented is short and the approach incision small, percutaneous screw insertion can be useful in order to achieve the necessary convergence. The self-tapping, cannulated 4.0-mm neon pedicle screw is used as standard screw (Figure 1a).



**Abbildung 6**

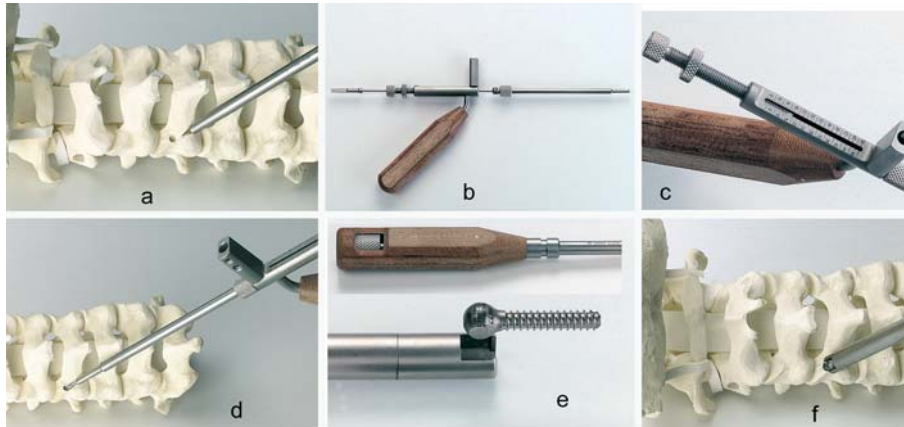
*Transpedikuläre Schraubenplatzierung hochthorakal:* In der oberen Brustwirbelsäule (BWS) liegt der Eindringpunkt der Schrauben im Allgemeinen am Oberrand des Querfortsatzes am tiefsten Punkt der Konkavität. Die Konvergenz beträgt in den meisten Fällen 0–30°. Die Schraubenrichtung ist leicht nach ventral absteigend in Relation zur Deckplatte des Wirbels. Obwohl das Risiko einer Schraubenfehlplatzierung in der BWS niedriger ist als in der HWS, wird zur Bestimmung der Eintrittspunkte der Pedikelschrauben präoperativ eine Computertomographie mit multiplanaren Rekonstruktionen der Pedikel der zu instrumentierenden Wirbel empfohlen. Die Pedikelweite in der oberen BWS ist deutlich größer als in der mittleren BWS und beträgt z.B. bei Th1 im Durchmesser 8,1 mm [20]. Als Standardschraube wird die selbstschneidende, kanülierte 5,0-mm-neon-Schraube verwendet. Bei geringen Pedikeldimensionen kann auch die selbstschneidende, kanülierte 4,0-mm-neon Schraube verwendet werden (Abbildung 1a).

**Figure 6**

*Transpedicular upper thoracic screw placement:* in the upper thoracic spine the entry point of the screw is generally at the upper margin of the transverse process at the lowest point of the concavity. In most cases the convergence is 0–30°. The screw orientation is slightly downward in an anterior direction relative to the upper end plate of the vertebra. Although there is a lesser risk of incorrect screw positioning in the thoracic spine than in the cervical spine, preoperative computed tomography with multiplanar reconstructions of the pedicles of the vertebrae to be instrumented is recommended in order to determine the entry points of the pedicle screws. The pedicle width in the upper thoracic spine is considerably greater than in the middle thoracic spine, T1 having a diameter of 8.1 mm, for example [20]. The self-tapping, cannulated 5.0-mm neon screw is used as standard screw. In the case of small pedicle dimensions the self-tapping, cannulated 4.0-mm neon screw may also be used (Figure 1a).

Im Folgenden werden nun die notwendigen Operationsschritte für typische Instrumentierungen beschrieben.

In the following we now describe the operative steps for typical instrumentations.



**Abbildungen 7a bis 7f**

*Instrumentierung C4/C6 mit Massa-lateralis-Schrauben und Pedikelschrauben.*

Unter Verwendung des Bildverstärkers Aufsuchen des Eindringpunkts für die Massa-lateralis-Schraube, Dekortizieren mit dem Pfriem (a). Mit der Bohrhülse mit Tiefenanschlag und auswechselbaren Ansatzstücken (b, c) Aufbohren mit dem 2,6-mm-Bohrer (d). Für Massa-lateralis-Schrauben empfiehlt es sich, zunächst eine Bohrtiefe von 14 mm einzustellen (c) und diese dann ggf. schrittweise zu erhöhen. Längenbestimmung mit dem Längenmesser und Einbringen einer 3,5-mm-neon-Schraube entsprechender Länge mit dem selbsthaltenden Schraubendreher (f). Die Schraube wird so in den Schraubendreher eingesetzt, dass die Gewindebohrung für den Montagestift nicht sichtbar ist, und anschließend mit der Rändelschraube fixiert (e). Für die Instrumentierung kann der stumpfe Führungsdraht verwendet werden, bei bikortikaler Bohrung sollte aber darauf geachtet werden, den Draht nicht zu weit nach ventral zu schieben. Nach dem Abnehmen des selbsthaltenden Schraubendrehers kann mit dem nicht selbsthaltenden Schraubendreher der Schraubenkopf korrekt ausgerichtet werden, d.h., die Gewindebohrung sollte so gut wie möglich nach dorsal zeigen.

**Figures 7a to 7f**

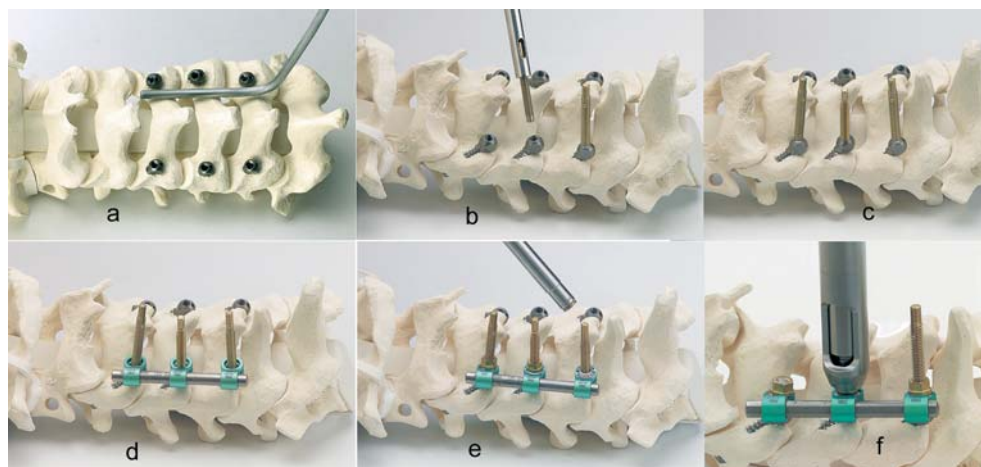
*Instrumentation of C4/C6 with lateral mass screws and pedicle screws.*

Using the image intensifier, identification of the entry point for the lateral mass screw, decortication with an awl (a). Using the tissue protector with depth stop and exchangeable attachments (b, c) the hole is started with a 2.6-mm drill bit (d). For lateral mass screws we recommend setting an initial drilling depth of 14 mm (c) which can then be increased stepwise as required. Determination of screw length with a depth gauge and insertion of a 3.5-mm neon screw of appropriate length with the locking screwdriver (f). The screw is placed in the screwdriver in such a way that the threaded bore for the easy fit is not visible and then secured with the knurled thumb screw (e). The blunt guide wire can be used for the instrumentation, but in the case of bicortical drilling care should be taken not to advance the wire too far anteriorly. After removal of the locking screwdriver the nonlocking screwdriver can be used to align the screw head correctly, i.e., with the threaded bore facing as much as possible in a posterior direction.

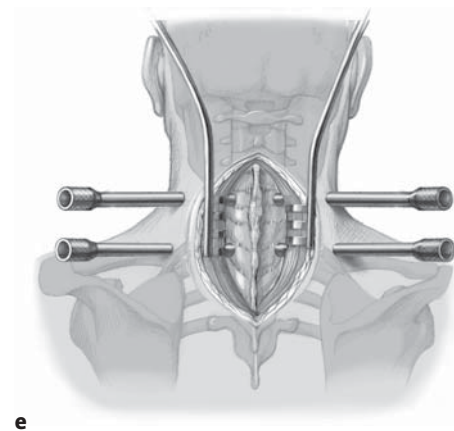
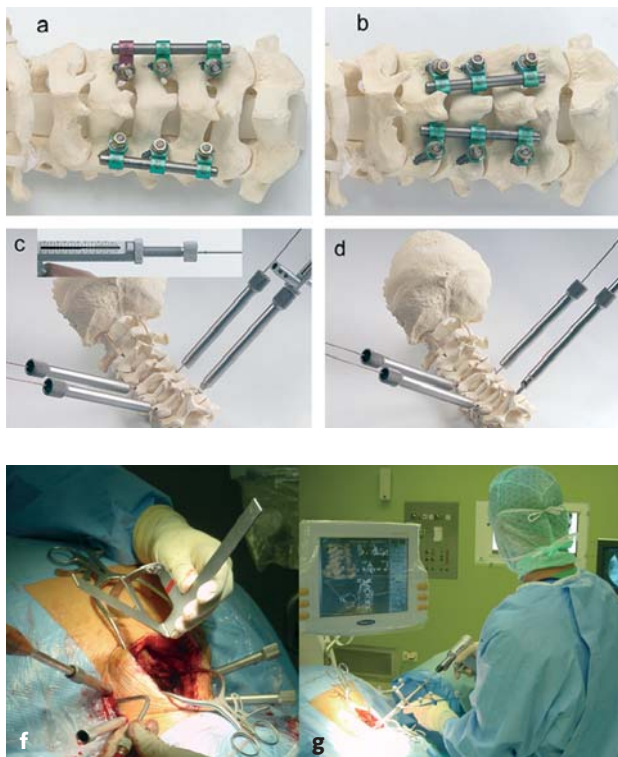
**Abbildungen 8a bis 8f**

Nachdem alle Schrauben implantiert sind (im vorliegenden Beispiel in C4, C5 und C6), werden mit Hilfe des Phantomstabs die Stablänge und -kontur bestimmt (a). Der Stab sollte entsprechend dem gewünschten sagittalen Profil (im Normalfall in der HWS Lordose) mit der Biegezange konturiert werden. In der Frontalebene ist normalerweise keine Konturierung notwendig. Liegen bei mehrsegmentalen Instrumentierungen die Schrauben nicht in einer Reihe, was insbesondere bei der Kombina-

tion verschiedener Schraubentechniken (z.B. Pedikelschrauben und Massa-lateralis-Schrauben) vorkommen kann, so lässt sich dies mit den unterschiedlich langen Verbindern ausgleichen. Danach werden die Montagestifte eingeschraubt (b); dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Montagestifte so gut wie möglich nach dorsal zeigen (c). Anschließend wird der konturierte Stab mit den entsprechenden Verbindern über die Montagestifte geschoben (d). Zusätzliche Höhenunterschiede zwischen Schrauben und Stab können mit den Spacern ausgeglichen werden. Sollen Spacer verwendet werden, können diese vor den Verbindern auf die jeweiligen Montagestifte geschoben werden. Über die Montagestifte werden nun die selbstausrichtenden asymmetrischen Unterlegscheiben geschoben; danach werden die Muttern aufgeschraubt und damit eine winkelstabile Schrauben-Stab-Verbindung erzielt (e). Beim Festdrehen der Muttern sollte der Stab mit der Stabfazzange fixiert werden, um ein Ausreißen der Schrauben zu vermeiden. Die Verwendung der polyaxialen Verbinder erleichtert die Instrumentierung wesentlich, da aufgrund der deutlich größeren Bohrung für den Montagestift eine Winkelung von 16° zwischen Schraube und Stab in jeder Richtung möglich ist. Nach dem Festziehen aller Montagestiftmutter müssen die überstehenden Anteile der Montagestifte entfernt werden. Dazu verwendet man das Abtrenninstrument und die Abtrennmutter. Die Abtrennmutter wird, mit der abgerundeten Seite zur Montagestiftmutter gerichtet, mit dem T-Schlüssel des Abtrenninstruments auf den Montagestift aufgeschraubt. Nun wird zunächst der Gegenhalter des Abtrenninstruments auf die Montagestiftmutter aufgesetzt. Der T-Schlüssel wird durch den Gegenhalter auf die Abtrennmutter geschoben. Durch Fixieren des Gegenhalters und Drehen des T-Schlüssels wird der Montagestift mit der Montagestiftmutter bündig abgeschert (f). Abschließend sollte der feste Sitz aller Montagestiftmutter nochmals kontrolliert werden, und ggf. gelockerte Montagestiftmutter sollten nachgezogen werden. Montagestiftmutter können sich beim Abtrennen der Montagestifte lockern, wenn der Gegenhalter nicht ausreichend fixiert wird. Danach ist die komplette Instrumentierung C4–C6 mit Massa-lateralis-Schrauben fertiggestellt.

**Figures 8a to 8f**

After all screws have been inserted (in the present example in C4, C5, and C6), the rod length and contour are determined using the neon phantom rod (a). The neon rod bender should be used to contour the rod to achieve the desired sagittal profile (in the cervical spine normally a lordosis). Contouring in the frontal plane is not usually necessary. If in the case of multisegmental instrumentation the screws are not in line, which can be the case particularly when a combination of different screw techniques is used (e.g., pedicle screws and lateral mass screws), this can be compensated by using connectors of different lengths. Then the easy fits are inserted (b) making sure they point as far as possible posteriorly (c). Next, the contoured rod is mounted on the easy fits with the appropriate connectors (d). Additional differences in height between the screws and the rod can be compensated with the spacers. If spacers are to be used, these can be placed on the respective easy fits before attaching the connectors. Now the self-aligning asymmetric washers are placed over the easy fits and then the hex nuts screwed on, thus achieving a fixed-angle screw-rod connection (e). When tightening the hex nuts it is important to hold the rod with the rod holder to prevent screw pullout. The use of the polyaxial connectors considerably facilitates instrumentation, since the considerably larger hole for the easy fit allows an angle of 16° between screw and rod in any direction. When all easy fit hex nuts have been tightened, the protruding parts of the easy fit must be cut off. This is done with the shear-off instrument and the shear-off hex nut. The shear-off hex nut is screwed onto the easy fit with the rounded side facing the hex nut of the easy fit using the T-handle of the shear-off instrument. Then the shear-off counterpart is mounted on the hex nut of the easy fit. The T-handled shear-off instrument is pushed through the counterpart onto the shear-off nut. By stabilizing the counterpart and turning the T-handle shear-off instrument the easy fit is cut off flush with the easy fit hex nut (f). Finally, all easy fit hex nuts should be checked again and tightened, if necessary. Easy fit hex nuts can become loose when trimming the easy fit, if the counterpart is not sufficiently stabilized. The C4–C6 instrumentation with lateral mass screws is now complete.



**Abbildungen 9a bis 9i**

*Komplette Instrumentierung mit Massa-lateralis-Schrauben C4/C6.*

Der Stab kann bei Verwendung von Massa-lateralis-Schrauben lateral (a) oder medial (b) platziert werden; bei Verwendung von Pedikelschrauben ist es aufgrund der sehr lateralen Lage der Schraubeneindringpunkte sinnvoll, den Stab medial der Schrauben zu platzieren. Bei Pedikelschrauben sollten aufgrund der notwendigen Konvergenz von 40–60° zwischen C3 und C6 das Aufbohren des Pedikels und das Einbringen der Schraube perkutan über eine Zusatzinzision mit dem kurzen Trokarsystem vorgenommen werden. In diesem Fall wird über den medialen dorsalen Zugang (Abbildung 3b) zunächst der Schraubeneindringpunkt aufgesucht (s. Abbildung 5), und die Kortikalis wird mit dem Pfriem oder der Knochenfräse eröffnet. Danach Zusatzinzision von ca. 1 cm Länge und perkutanes Einbringen des Trokarsystems (c, d). Lage der perkutan eingebrachten Trokarhülsen (e). Sofern kein Computernavigationssystem verwendet wird, sollte präoperativ der Pedikelwinkel aller zu instrumentierenden Pedikel im CT mit Rekonstruktionen in der Pedikelachse ausgemessen werden. Intraoperativ empfiehlt es sich, mit Hilfe eines Winkelmessers den korrekten Winkel der Bohrhülse zu kontrollieren (f). Durch das Trokarsystem dann Aufbohren mit dem 2,6-mm-Bohrer und Austasten der Bohrung auf Pedikelperforationen. Der Tiefenschlag an der Bohrhülse sollte entsprechend der präoperativen Planung auf die geplante Schraubenlänge eingestellt werden. Wurde keine Planung durchgeführt, empfiehlt sich die Einstellung 26 mm. Dann Einbringen des stumpfen Füh-



**Figures 9a to 9i**

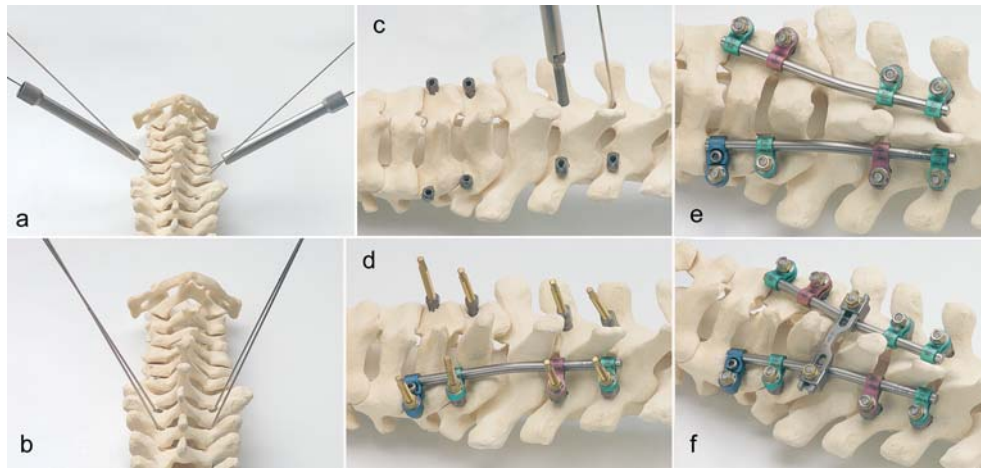
*Complete C4/C6 instrumentation with lateral mass screws.*

If lateral mass screws are used, the rod can be placed laterally (a) or medially (b); if pedicle screws are used, the rod should be placed medial to the screws on account of the very lateral position of the screw entry points. If pedicle screws are used, on account of the necessary convergence of 40–60° between C3–C6, the drilling of the pedicle and insertion of the screws should be performed percutaneously via an additional incision using the short trocar system. In this case, first the screw entry point is identified via the medial posterior incision (Figure 3b, see Figure 5) and the cortex opened with an awl or burr. Then an additional incision 1 cm in length is made and the trocar system inserted percutaneously (c, d). Position of percutaneously inserted trocar sleeves (e). If a computer navigation system is not being used, the pedicle angle of all pedicles to be instrumented should be measured preoperatively by CT with reconstructions in the pedicle axis. Intraoperatively, it is advisable to check the correct angle of the tissue protector with a goniometer (f). Through the trocar system an initial hole is then drilled with the 2.6-mm drill and the drill hole probed to detect any pedicle perforation. The depth stop of the tissue protector should be set to the screw length determined during preoperative planning. If no planning was performed, a setting of 26 mm is recommended. Then the blunt guide wire is inserted through the trocar system and the screw length read off the depth stop of the tissue protector with trocar system with the help of the markings on the guide wire. To determine the screw length, the depth stop is



rungsdrahts durch das Trokarsystem und Bestimmung der Schraubenlänge mit den Markierungen des Führungsdrahts am Tiefenschlag der Bohrhülse mit Trokarsystem. Zur Bestimmung der Schraubenlänge wird der Tiefenschlag so eingestellt, dass die Markierung des stumpfen Führungsdrahts mit dem Tiefenschlag abschließt. Dann kann die Schraubenlänge an der Einstellungsskala abgelesen werden (c, Insert). Sofern ein Computernavigationssystem verwendet wird, ist die präoperative Bestimmung des Pedikelwinkels nicht notwendig, da der Winkel intraoperativ mit dem Computernavigationssystem kontrolliert werden kann (g). Entfernen des Trokars aus der Außenhülse und Einbringen der kanülierten Schraube entsprechender Länge über den Führungsdraht mit dem kanülierten, nicht selbsthaltenden Schraubendreher (d). Bei der offenen Instrumentierung Aufbohren des Pedikels mit der Bohrhülse mit dem spitzen 2,6-mm-Einsatz, Austasten des Pedikels, Einbringen des stumpfen Führungsdrahts, Bestimmung der Schraubenlänge mit der Messhülse und der Markierung am Führungsdraht, Einbringen der kanülierten Schraube über den Führungsdraht mit dem kanülierten, nicht selbsthaltenden Schraubendreher. Bei der Pedikelinstrumentierung wird in jedem Fall die Verwendung des Führungsdrahts empfohlen, um ein laterales Ausbrechen der Schraube aus dem Pedikel zu vermeiden. Nach dem Setzen der Schrauben (im vorliegenden Beispiel Pedikelschrauben C4 und C6) Einbringen der Montagestifte (h) und Instrumentieren mit entsprechenden polyaxialen Verbindern und Längsträgern (i). Der Führungsdraht wird nun entfernt.

set so that the marking on the blunt guide wire is flush with the depth stop. Then the screw length can be read off the adjustment scale (c, insert). If a computer navigation system is used, preoperative determination of the pedicle angle is not necessary, as the angle can be checked intraoperatively using the computer navigation system (g). The trocar is removed from the outer sleeve and the cannulated screw of appropriate length inserted over the guide wire with the cannulated nonlocking screwdriver (d). In the case of open instrumentation the cortex is penetrated with the tissue protector with the sharp 2.6-mm drill bit, the pedicle is probed, the blunt guide wire inserted, the screw length determined with the measuring sleeve and the markings on the guide wire, the cannulated screw inserted over the guide wire with the cannulated nonlocking screwdriver. For pedicle instrumentation the use of the guide wire is strongly recommended to avoid lateral perforation of the pedicle by the screw. After placement of the screws (in the present example, pedicle screws C4 and C6), insertion of the easy fit (h) and instrumentation with appropriate polyaxial connectors and longitudinal rods (i). The guide wire is now removed.



**Abbildungen 10a bis 10f**

*Zervikothorakale Instrumentierung C6/Th3 mit Pedikelschrauben und Quersystem.*

In C6 perkutanes Aufbohren des Pedikels mit Trokarsystem wie oben beschrieben. Für C7 und hochthorakal ist aufgrund der geringen Konvergenz der Schrauben die offene Technik zu empfehlen. Dazu zunächst Aufsuchen des jeweiligen Pedikeleindringpunkts, Dekortizieren mit dem Pfriem und Aufbohren des Pedikels mit der Bohrhülse mit 2,6-mm-Einsatz und 2,6-mm-Bohrer in C7 und mit 3,5-mm-Einsatz und 3,5-mm-Bohrer hochthorakal. Nach Aufbohren und Austasten der Pedikel sowie Bestimmung der Schraubenlänge mit Hilfe der Bohrhülse (Abbildung 9c) Einbringen der stumpfen Führungsdrähte (a, b) und Platzieren der Schrauben über die Führungsdrähte (c). Die Führungsdrähte (a, b) verdeutlichen die unterschiedliche Konvergenz in C6, C7 und hochthorakal. Zervikal werden 4,0-mm-Schrauben und thorakal 5,0-mm-Schrauben verwendet. Durch die auf 15° reduzierte Winkelung zwischen Schraubenachse und Montagestiftbohrung bei den 5-mm-Schrauben wird entsprechend der geringeren Konvergenz der hochthorakalen Pedikel eine nahezu waagerechte Lage der Verbinder ermöglicht. Nun Instrumentieren mit Verbindern und Stab, wie bereits in Abbildungen 8 und 9 beschrieben (d, e). Zur Erhöhung der Primärstabilität wird am zervikothorakalen Übergang die Verwendung eines Quersystems empfohlen. Dazu Einhaken von je einer Klemmbacke unter dem Stab auf jeder Seite, je nach anatomischen Gegebenheiten von medial oder lateral, und Auswahl eines Querstabs entsprechender Länge (f). Dabei kann es notwendig werden, den Querstab mit einem Seitenschneider zu kürzen. Auflegen des Querstabs von dorsal und Fixieren mit je einer Unterlegscheibe und Montagestiftmutter auf beiden Seiten unter Verwendung des Steckschlüssels. Abbrechen der Verlängerungstifte der Klemmbacken, die mit einer Sollbruchstelle versehen sind. Der Wundverschluss erfolgt schichtweise mit Einzelknopfnähten über einer subfaszialen Redon-Drainage, der Hautverschluss mit kräftigen Einzelknopfnähten der Stärke 2-0.

**Figures 10a to 10f**

*Cervicothoracic instrumentation of C6/T3 with pedicle screws and cross-connector.*

For C6 percutaneous drilling of the pedicle with the trocar system as described above. For C7 and the upper thoracic region an open technique is recommended on account of the lesser convergence of the screws. For this, first identification of the respective pedicle entry points, decortication with an awl and drilling of the pedicle through the tissue protector with 2.6-mm adapter and 2.6-mm drill bit in C7 and with 3.5-mm adapter and 3.5-mm drill bit in the upper thoracic region. After drilling the initial hole, probing of the pedicle and determination of the screw length using the tissue protector (Figure 9c), the blunt guide wires are inserted (a, b) and the screws placed over the guide wires (c). The guide wires (a, b) demonstrate the different degrees of convergence in C6, C7 and the upper thoracic vertebrae. 4.0-mm screws are used for the cervical vertebrae and 5.0-mm screws for the thoracic vertebrae. The reduction of the angle between the screw axis and the easy fit bore to 15° in the case of the 5-mm screws permits a practically horizontal position of the connectors corresponding to the lesser degree of convergence of the upper thoracic pedicles. Now instrumentation with connectors and rod is performed as already described in Figures 8 and 9 (d, e). To increase the primary stability use of a cross-link system is recommended at the cervicothoracic junction. For this, a locking clamp is hooked under the rod on each side, from medial or lateral depending on the anatomy, and a transverse bar of appropriate length is selected (f). It may be necessary to shorten the transverse bar with a side cutter. The cross connector is mounted from posterior and secured with one washer and easy fit hex nut on each side using the socket wrench. The extension pins of the locking clamp are broken off at the predetermined breaking point. Subfascial insertion of a suction drain. Wound closure in layers with interrupted stitches and skin suture with 2-0 interrupted stitches.



### Postoperative Behandlung

- Röntgenkontrolle in zwei Ebenen unmittelbar nach dem Eingriff im Operationssaal.
- Bettruhe bis zum 1. postoperativen Tag.
- Mobilisation mit weicher Halskrawatte für 4 Wochen ab dem 1. postoperativen Tag.
- Bei schlechter Knochenqualität (z.B. Rheumatiker) ggf. feste Halskrawatte für 6 Wochen.
- Entfernung der Redon-Drainage und erster Verbandswechsel am 2. postoperativen Tag.
- Entfernung der Fäden am 10.–14. postoperativen Tag.
- Klinisch-radiologische Verlaufskontrollen 3, 6, 12 und 24 Monate postoperativ.

### Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Iatrogene Verletzung von Nervenwurzeln, Myelon oder Arteria vertebralis durch Schraubenfehlage:
  - Massa-lateralis-Schrauben: Hauptrisiko ist eine Verletzung des Ramus dorsalis der entsprechenden Wurzel (6–8%). Auch eine Verletzung der Arteria vertebralis ist bei ausgeprägter Schraubenfehlage möglich.
  - Pedikelschrauben zervikal: Hauptrisiko ist eine Verletzung der Arteria vertebralis durch laterales Ausbrechen aus dem Pedikel. Die laterale Kortikalis des Pedikels ist nämlich deutlich dünner als die mediale, und die erforderliche Konvergenz der Schrauben zwischen 40° und 60° lässt sich aufgrund der Weichteile schwer erreichen. Durch die Verwendung kanülierter Schrauben wird dieses Risiko deutlich reduziert. Bei kleinen Zugängen und muskelkräftigen Patienten kann die notwendige Konvergenz leichter über eine perkutane Schraubeneinbringung mit dem Trokarsystem erreicht werden. Sollte eine Verletzung der Arteria vertebralis auftreten, so ist die Arteria vertebralis nach Möglichkeit darzustellen und zu ligieren oder zu koagulieren, sofern sich durch das Einbringen der Schraube keine ausreichende Blutstillung erreichen lässt. Falls es bei der Pedikelbohrung oder der Schraubeneinbringung zu einer Verletzung der Nervenwurzel bzw. der Dura kommt, sollte zunächst das Duraleck dargestellt und verschlossen werden. Falls keine korrekte Schraubenlage mehr möglich ist, entweder auf Massa-lateralis-Schrauben ausweichen (wenn möglich) oder die Stabilisierung um ein Segment erweitern. Eine Verletzung des zervikalen Myelons mit Pedikelschrauben ist unwahrscheinlich und nur bei deutlich zu medialem Eindringpunkt der Schraube möglich.

### Postoperative Management

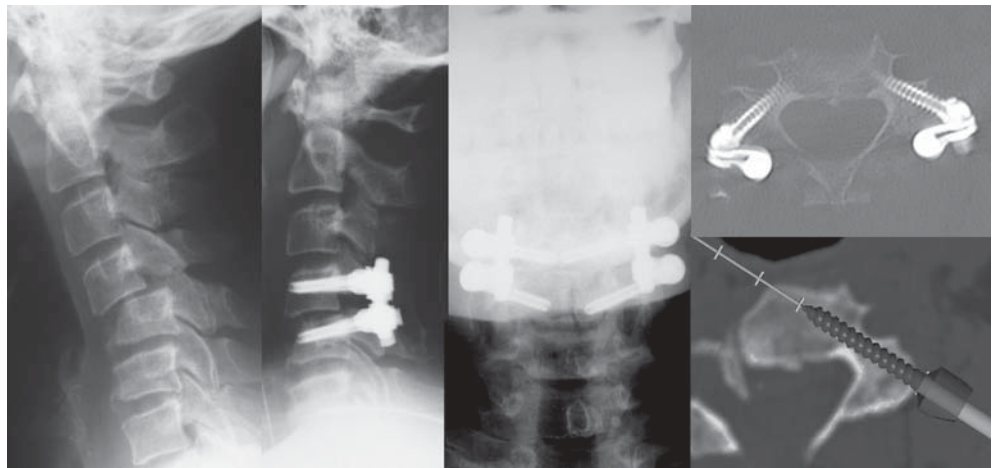
- Radiographic evaluation in two planes immediately after surgery in the operating room.
- Bedrest until the 1st postoperative day.
- Mobilization with a soft collar for 4 weeks beginning on the 1st postoperative day.
- In the case of poor bone quality (e.g., rheumatoid patients) a rigid collar for 6 weeks may be necessary.
- Drain removal and first dressing change on 2nd postoperative day.
- Stitches removed on 10th–14th postoperative day.
- Clinical and radiographic follow-up 3, 6, 12, and 24 months postoperatively.

### Errors, Hazards, Complications

- Iatrogenic injury to nerve roots, spinal cord or vertebral artery through incorrect screw placement:
  - Lateral mass screws: the chief risk is damage to the dorsal branch of the respective posterior root (6–8%). Injury to the vertebral artery is also possible.
  - Cervical pedicle screws: the main risk is injury to the vertebral artery through lateral perforation of the pedicle. The lateral cortex of the pedicle is considerably thinner than the medial cortex and the necessary convergence of the screws of between 40° and 60° is difficult to achieve on account of the soft tissues. The use of cannulated screws significantly reduces this risk. In small incisions and very muscular patients, the necessary convergence can be achieved more easily by means of percutaneous screw insertion using a trocar system. If injury to the vertebral artery occurs, the vertebral artery should be exposed and ligated or coagulated, if insertion of the screw does not produce adequate hemostasis. If injury to the nerve root or the dura occurs during pedicle drilling or screw insertion, the dura leak should first be exposed and closed. If correct screw positioning is no longer possible, either lateral mass screws should be used (if possible) or the stabilization extended by one segment. Injury to the cervical cord caused by pedicle screws is unlikely and only possible, if the entry point of the screw is significantly too medial.
  - Upper thoracic pedicle screws: the main risk is injury to the dura through medial perforation of the pedicle. A further risk is the lateral perforation of the pedicle and the vertebral body, if there is insufficient convergence resulting in a reduced hold-

**Abbildung 11**

Fallbeispiel 1: 42-jähriger Patient mit veralteter, einseitig verhakter und einseitig reitender Luxationsfraktur C4/5 mit ausgeprägter Fehlstellung nach konservativer Therapie im Minerva-Gips. Es wurde eine computernavigierte dorsale Instrumentierung mit Pedikelschrauben C4 und C5 (4,0 mm) durchgeführt mit dorsaler Resektion der kaudalen Gelenkfacetten von C4 und dorsaler Reposition C4/5. Die postoperative CT-Kontrolle zeigte eine korrekte Platzierung aller Pedikelschrauben ohne Pedikelperforationen. 9 Monate postoperativ kein Korrekturverlust, kein Anhalt für Implantatversagen. Über ein rein dorsales Vorgehen konnten eine gute Reposition und Stabilisierung erreicht werden.

**Figure 11**

Patient 1: 42-year-old man with remote, unilaterally locked and unilaterally high-riding dislocation fracture C4/5 with marked deformity after nonoperative treatment in a Minerva cast. Computer-navigated posterior instrumentation with pedicle screws C4 and C5 (4.0 mm) was performed with posterior resection of the caudal joint facets of C4 and posterior reduction C4/5. The postoperative CT showed correct placement of all pedicle screws without pedicle perforation. 9 months postoperatively, no loss of correction, no evidence of implant failure. Good reduction and stabilization were achieved with a purely posterior procedure.

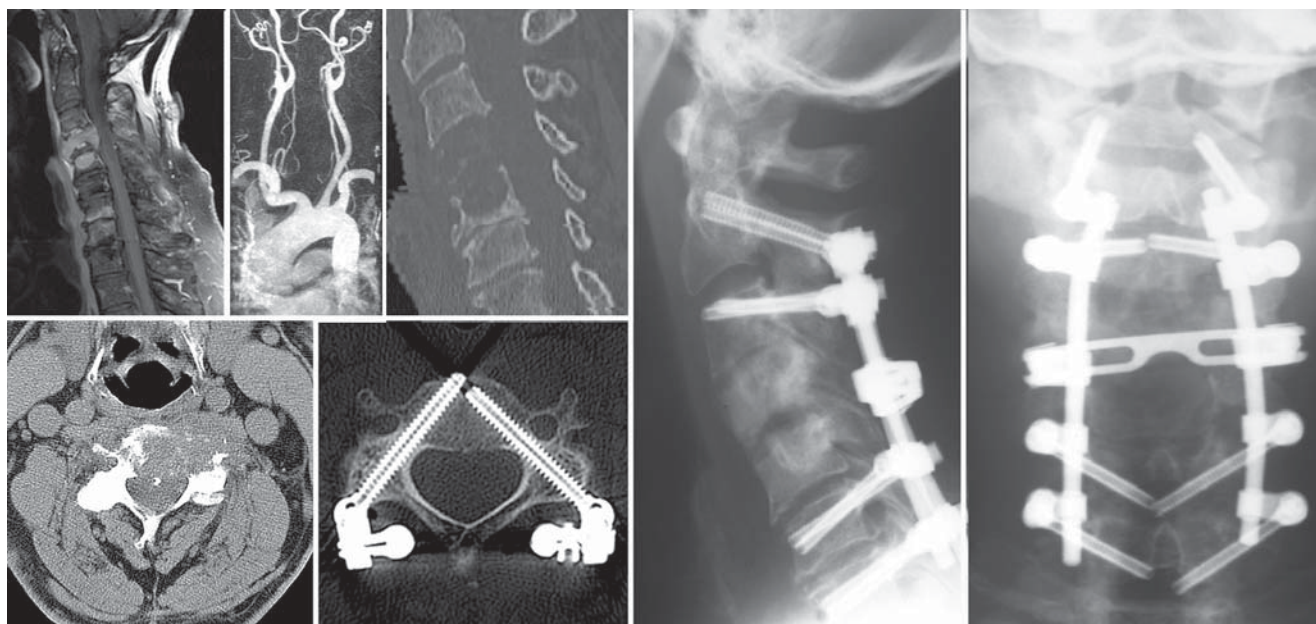
- Pedikelschrauben hochthorakal: Hauptrisiko ist eine Verletzung der Dura durch mediales Ausbrechen aus dem Pedikel. Ein weiteres Risiko ist die laterale Perforation des Pedikels und des Wirbelkörpers bei zu geringer Konvergenz mit reduzierter Stabilität der Verankerung. Durch die Verwendung von kanülierten Schrauben wird dieses Risiko verringert. Bei einer lateralen Perforation sollte bei gleichem Eindringpunkt eine mehr konvergierende Bohrung des Pedikels versucht werden. Bezüglich des Vorgehens bei Verletzung von Nervenwurzeln oder Myelon s. oben. Im Gegensatz zu zervikalen Pedikelschrauben ist bei hochthorakalen Pedikelschrauben auch bei korrektem Eindringpunkt bei zu großer Konvergenz eine Verletzung der Dura oder auch des Myelons möglich.
- Wundheilungsstörungen: Frühzeitige Revision mit Débridement und ggf. temporärer Anlage einer Vakuumversiegelung, um die Entwicklung eines tiefen Infekts möglichst zu vermeiden.
- Infekt im Implantatlager: Frühzeitige Revision mit Débridement, insbesondere auch des Implantatlagers. Eine Implantatentfernung ist normalerweise nicht notwendig. Die Einlage von Septopal-Ketten in das Implantatlager ist zu empfehlen. Perioperativ sollte eine intravenöse Antibiose (z.B. Levoflo-

ing power. The use of cannulated screws reduces this risk. In the case of lateral perforation, an attempt should be made to achieve greater convergence of the drill holes in the pedicle using the same entry point. For the procedure in the case of injury to the nerve roots or spinal cord, see above. In contrast to cervical pedicle screws, injury to the dura or the spinal cord is possible in the case of upper thoracic pedicle screws even with a correct entry point, if the convergence is too great.

- Impaired wound healing: early revision with debridement and, if necessary, temporary use of vacuum seal to avoid development of a deep infection.
- Infection of the implant bed: early revision with debridement, particularly of the implant bed. Removal of the implant is usually not necessary. Insertion of Septopal chains (antibiotic beads) is recommended. Intravenous antibiotics (e.g., levofloxacin [Tavanic] and rifampicin) should be initiated perioperatively and then optimized according to the microbiologic results.

**Results**

Between August 2000 and August 2003, the author performed subaxial cervical or cervicothoracic stabilization via a posterior approach in 44 patients, 13 women and 31 men, with an average age of 57.1 years (18–76



**Abbildung 12**

Fallbeispiel 2: 64-jähriger Patient mit ossär metastasierendem Bronchialkarzinom und Metastasen C4 und C5 mit großer Weichteilkomponente sowie Ummauerung und Einengung der Arteria vertebralis rechts und ausgeprägter Vaskularisierung des Tumors. Einbruch des Tumors in den Spinalkanal ohne neurologisches Defizit. Nahezu vollständige Zerstörung der Wirbelkörper C4 und C5. Geschätzte Überlebensprognose < 10 Monate. In Anbetracht der ausgeprägten Vaskularisierung des Tumors sowie der Ummauerung und Einengung der Arteria vertebralis rechts wurde ein palliatives dorsales Vorgehen gewählt mit dorsaler Instrumentierung C2, C3 auf C6, C7 mit Pedikelschrauben und Quersystem in Kombination mit Laminektomie C4 und C5 und transpedikulärer Biopsie C4 rechts. Eine dorsale Spanstraße wurde in Anbetracht der eingeschränkten Prognose nicht angelegt. Die Nachbehandlung erfolgte ohne Halskrawatte. Aufgrund der fehlenden ventralen Abstützung und des hohen Risikos eines ventralen Vorgehens wurden jeweils zwei Wirbel ober- und unterhalb des Tumors instrumentiert, um eine sichere Stabilisierung zu gewährleisten. Die postoperative CT-Kontrolle zeigte eine korrekte Platzierung aller Pedikelschrauben ohne Pedikelperforationen. 12 Monate postoperativ kein Korrekturverlust, kein Anhalt für Implantatversagen.

**Figure 12**

Patient 2: 64-year-old man with bone metastasis of bronchial carcinoma and metastases in C4 and C5 with extensive soft tissue surrounding and compressing the right vertebral artery and marked vascularization of the tumor. Penetration of the tumor into the spinal canal without neurologic deficit. Almost complete destruction of vertebral bodies C4 and C5. Estimated survival prognosis < 10 months. In view of the marked vascularization of the tumor and the encasing and compression of the right vertebral artery, a palliative posterior procedure was chosen with posterior instrumentation of C2, C3 to C6, C7 with pedicle screws and neon cross-connector system in combination with laminectomy of C4 and C5 and right-sided transpedicular biopsy of C4. In view of the limited prognosis posterior bone grafting was not performed. Postoperative management was without a collar. In the absence of anterior support and in view of the high risk associated with an anterior procedure, instrumentation of two vertebrae above and below the tumor, respectively, was performed in order to ensure secure stabilization. The postoperative CT showed correct placement of all pedicle screws without pedicle perforation. 12 months postoperatively, there was no loss of correction and no evidence of implant failure.

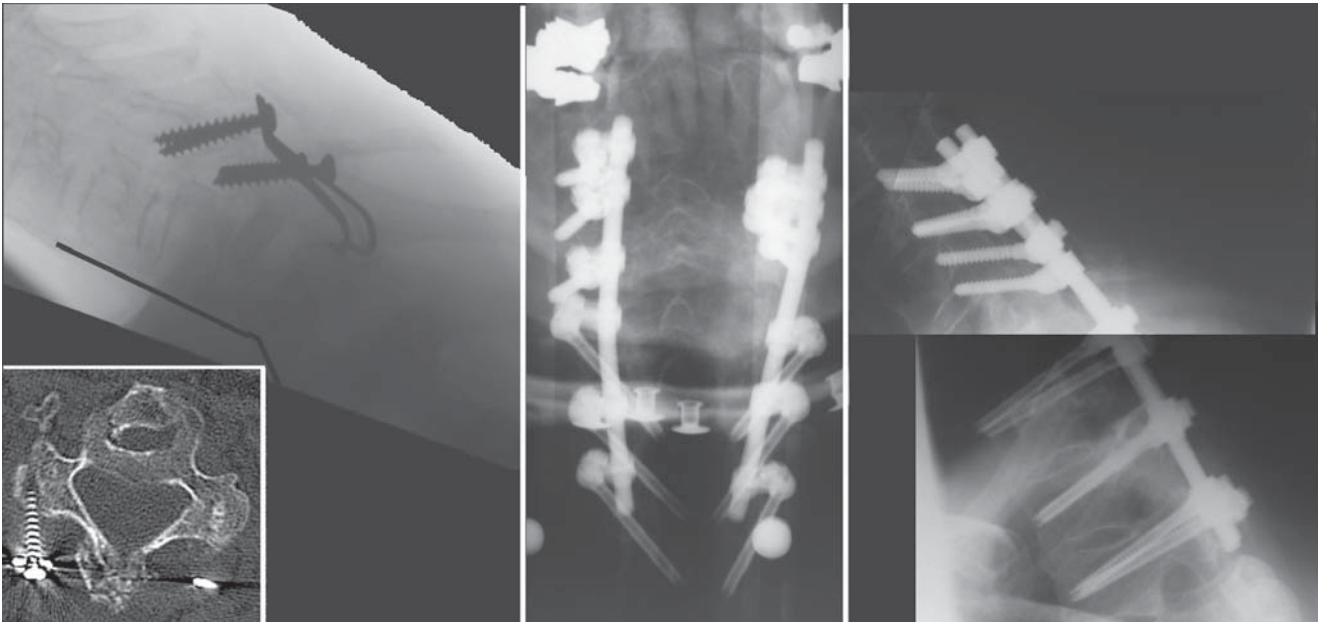
xacin [Tavanic] und Rifampicin) begonnen werden, die dann je nach Abstrichergebnis optimiert wird.

### Ergebnisse

44 Patienten, 13 Frauen und 31 Männer, mit einem Durchschnittsalter von 57,1 Jahren (18–76 Jahre) wurden von August 2000 bis August 2003 vom Autor subaxial zervikal oder zervikothorakal über einen dorsa-

years) using the neon implant system (Figures 11 to 14).

The indications were multisegmental cervical spinal stenosis in 17 patients, pathologic fractures due to metastases in nine, fractures in eight, posttraumatic or postinfectious deformities in five, rheumatoid instability in three patients, and spondylodiscitis and swan-neck deformity after multiple previous operations in one patient each. The average operating time was 186 min

**Abbildung 13**

Fallbeispiel 3: 62-jähriger Patient mit Morbus Bechterew und instabiler C6/7-Fraktur. Implantatlockerung, Korrekturverlust und Pseudarthrose 12 Wochen nach auswärts durchgeführter dorsaler Instrumentierung C5/C7 mit Hakenplatte. Ein Geradeausblick war dem Patienten nicht mehr möglich. Nach Implantatentfernung zunächst Reposition C6/7 nach V-förmiger dorsaler Osteotomie C6/7 und dorsale Instrumentierung mit Massa-lateralis-Schrauben C4, C5, C6 und Pedikelschrauben C7, Th1, Th2. Nachdem kein Navigationssystem verfügbar war, wurden aufgrund der schwierigen anatomischen Verhältnisse Massa-lateralis-Schrauben zervikal verwendet. Zum Zeitpunkt der Operation waren die 5,0-mm-neon-Schrauben noch nicht verfügbar, so dass auch hochthorakal 4,0-mm-Pedikelschrauben verwendet wurden. Die postoperative CT-Kontrolle mit multiplanaren Rekonstruktionen in den Schraubenachsen aller Schrauben zeigte eine korrekte Platzierung aller Pedikelschrauben ohne Pedikelperforationen. Die Nachbehandlung erfolgte mit Philadelphia-Krawatte für 6 Wochen und weicher Halskrawatte für weitere 6 Wochen. 24 Monate postoperativ gesicherte knöcherne Fusion, kein Korrekturverlust, kein Anhalt für Implantatversagen, Geradeausblick gut möglich.

**Figure 13**

Patient 3: 62-year-old man with ankylosing spondylitis (Bekterev's disease) and unstable C6/7 fracture. Implant loosening, loss of correction and pseudarthrosis 12 weeks after posterior hook plate instrumentation C5/C7 performed at another hospital. The patient was no longer able to look straight ahead. Removal of the implant, then reduction at C6/7 after V-shaped posterior osteotomy at C6/7 and posterior instrumentation with lateral mass screws C4, C5, C6 and pedicle screws C7, T1, T2. On account of the difficult anatomy lateral mass screws were used cervically, as no navigation system was available. At the time of the operation the 5.0-mm neon screws were not yet available and 4.0-mm pedicle screws were therefore also used in the upper thoracic region. The postoperative CT with multiplanar reconstruction in the screw axes of all screws showed correct placement of all pedicle screws without pedicle perforation. Postoperative management was with a Philadelphia collar for 6 weeks and a soft collar for a further 6 weeks. 24 months postoperatively, there was established bony fusion, no loss of correction, no evidence of implant failure, and the patient was now able to look straight ahead.

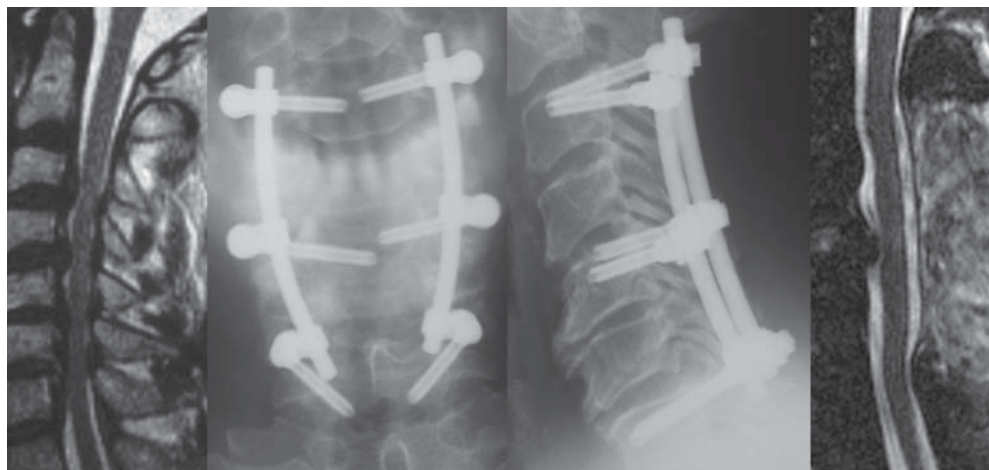
len Zugang mit dem neon-Implantatsystem stabilisiert (Abbildungen 11 bis 14).

Indikationen waren zervikale multisegmentale Spinalstenosen bei 17, pathologische Frakturen aufgrund von Metastasen bei neun, Frakturen bei acht, posttraumatische oder postinfektiöse Fehlstellungen bei fünf, rheumatische Instabilitäten bei drei sowie Spondylodiszitis und Schwanenhalsdeformität nach multiplen Voroperationen bei je einem Patienten. Die durchschnittliche Operationsdauer betrug 186 min

(60–400 min), the average blood loss 342 ml (50–1,200 ml, volume collected in suction apparatus). The average number of segments instrumented was 3.2 (one to eight). Pedicle screws were used in all patients. The total number of pedicle screws was 184, the average number five (two to ten). In six patients a total of 20 lateral mass screws were used additionally in C3–C5 because of anatomy unsuitable for pedicle screws (pedicle width < 3.5 mm). In 23 patients a computer navigation system (CAS system, BrainLab VectorVi-

**Abbildung 14**

Fallbeispiel 4: 53-jähriger Patient mit multisegmentaler zervikaler Spinalstenose C3–C7 und rasch progredienter zervikaler Myelopathie. Bei Aufnahme spastische Tetraplegie bei nicht mobilisierbarem Patienten, der JOA-Score (2–17 Punkte) betrug präoperativ 3 Punkte [21]. Es wurde eine dorsale Instrumentierung mit Pedikelschrauben C3, C5 und C7 computernavigiert durchgeführt, mit Laminektomie C3–C6 und Laminotomie C7.



Die postoperative CT-Kontrolle zeigte eine korrekte Platzierung aller Pedikelschrauben ohne Pedikelperforationen. Postoperativ deutliche Besserung der neurologischen Symptomatik mit Gehfähigkeit des Patienten und einem postoperativen JOA-Score von 12 Punkten. 12 Monate postoperativ gesicherte knöcherne Fusion, kein Korrekturverlust, kein Anhalt für Implantatversagen, JOA-Score von 13 Punkten.

**Figure 14**

Patient 4: 53-year-old man with multisegmental cervical spinal stenosis C3–C7 and rapidly progressive cervical myelopathy. On admission the patient showed spastic tetraplegia and could not be mobilized, preoperative JOA Score (range 2–17 points) of 3 [21]. Posterior instrumentation with pedicle screws C3, C5 and C7 was performed with computer navigation with laminectomy of C3–C6 and laminotomy of C7. The postoperative CT showed correct placement of all pedicle screws without pedicle perforation. Postoperatively, there was marked improvement of the neurologic symptoms, the patient was able to walk and had a postoperative JOA Score of 12. 12 months postoperatively, there was definite bone fusion, no loss of correction, no evidence of implant failure, and a JOA Score of 13.

(60–400 min), der durchschnittliche Blutverlust 342 ml (50–1 200 ml, Sammelmenge im Sauger). Es wurden durchschnittlich 3,2 Segmente (ein bis acht Segmente) instrumentiert. Bei allen Patienten wurden Pedikelschrauben, insgesamt 184, verwendet, durchschnittlich fünf (zwei bis zehn). Bei sechs Patienten wurden zusätzlich insgesamt 20 Massa-lateralis-Schrauben in C3–C5 verwendet, wegen für Pedikelschrauben ungeeigneter Anatomie (Pedikelweite < 3,5 mm). Bei 23 Patienten wurde zusätzlich ein Computernavigationssystem (CAS-System, BrainLab VectorVision, 85551 Heimstetten) eingesetzt. Implantatbedingte Komplikationen traten nicht auf. Die geplante Instrumentierung konnte in allen Fällen ohne intraoperative Änderung umgesetzt werden.

79 Pedikelschrauben wurden ohne und 105 Pedikelschrauben mit CAS-System gesetzt. Die Position aller Schrauben wurde mit einem postoperativen CT mit multiplanaren Rekonstruktionen in den Schraubenachsen evaluiert. In der konventionellen Gruppe wurde der Pedikel von 7/79 Pedikelschrauben > 0,5 mm (Gewindetiefe der Pedikelschrauben) perforiert (8,8%). In keinem Fall kam es zu einer Verletzung vaskulärer oder neuraler Strukturen, eine operative

85551 Heimstetten, Germany) was used in addition. No implant-related complications occurred. The planned instrumentation could be implemented in all cases without intraoperative modification.

79 pedicle screws were placed without and 105 pedicle screws with a CAS system. The position of all screws was evaluated by means of a postoperative CT scan with multiplanar reconstruction in the screw axes. In the conventional group, the pedicle was perforated > 0.5 mm (depth of thread of the pedicle screws) by 7/79 pedicle screws (8.8%). Injury of vascular or neural structures did not occur in any of the patients, surgical revision was not necessary in any of them. In the group with computer navigation, all screws could be implanted with the help of the CAS system. 3/105 screws perforated the cortex > 0.5 mm (2.9%). There were no instances of injury to the vertebral artery or neural structures; screw revision was never necessary [17]. In one patient with metastatic esophageal cancer and manifest alcohol abuse there was a deep infection in the implant bed postoperatively, which healed without implant removal after debridement, Septopal chain insertion and systemic antibiotics.

Revision war in keinem Fall notwendig. In der computernavigierten Gruppe konnten alle Schrauben mit Hilfe des CAS-Systems implantiert werden. 3/105 Schrauben perforierten die Kortikalis  $>0,5$  mm (2,9%). Es kam zu keiner Verletzung der Arteria vertebralis oder neuraler Strukturen, es wurde keine Schraubenrevision notwendig [17]. Bei einem Patienten mit einem metastasierenden Ösophaguskarzinom und manifistem Alkoholabusus kam es postoperativ zu einem tiefen Infekt im Implantatlager, der nach Débridement, Septopal-Ketten-Einlage und systemischer Antibiose ohne Implantatentfernung ausheilte.

Alle Patienten wurden nach 4–39 Monaten (im Durchschnitt 15,7 Monate) nachuntersucht. Bei keinem Patienten mit dorsaler Spondylodese ergab sich bei der Nachuntersuchung ein Anhalt für eine Pseudarthrose, es kam in keinem Fall zu einem Implantatversagen im Sinne eines Implantatbruchs, einer Implantatlockerung oder eines Korrekturverlusts, und es war keine Implantatentfernung oder Revisionsoperation nötig.

### Literatur – References

1. Abumi K, Itoh H, Taneichi H, et al. Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report. *J Spinal Disord* 1994;7:19–28.
2. Abumi K, Kaneda K, Shono Y, et al. One-stage posterior decompression and reconstruction of the cervical spine by using pedicle screw fixation systems. *J Neurosurg* 1999;90:Suppl:19–26.
3. Abumi K, Shono Y, Taneichi H, et al. Correction of cervical kyphosis using pedicle screw fixation systems. *Spine* 1999;24:2389–96.
4. Abumi K, Takada T, Shono Y, et al. Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod systems. *Spine* 1999;24:1425–34.
5. Fehlings MG, Errico T, Cooper P, et al. Occipitocervical fusion with a five-millimeter malleable rod and segmental fixation. *Neurosurgery* 1993;32:198–207.
6. Heller JG, Estes BT, Zaouali M, et al. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance. *J Bone Joint Surg Am* 1996;78:1315–21.
7. Heller JG, Silcox DH 3rd, Sutterlin CE 3rd. Complications of posterior cervical plating. *Spine* 1995;20:2442–8.
8. Jeanneret B, Gebhard JS, Magerl F. Transpedicular screw fixation of articular mass fracture-separation: results of an anatomical study and operative technique. *J Spinal Disord* 1994;7:222–9.
9. Jeanneret B, Schären S. Dorsale Stabilisierung der Halswirbelsäule und der oberen Brustwirbelsäule mit CerviFix. *Oper Orthop Traumatol* 2004;16:89–116.
10. Jones EL, Heller JG, Silcox DH, et al. Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 1997;22:977–82.
11. Kotani Y, Cunningham BW, Abumi K, et al. Biomechanical analysis of cervical stabilization systems. An assessment of transpedicular screw fixation in the cervical spine. *Spine* 1994;19:2529–39.
12. Ludwig SC, Kowalski JM, Edwards CC 2nd, et al. Cervical pedicle screws: comparative accuracy of two insertion techniques. *Spine* 2000;25:2675–81.
13. Ludwig SC, Kramer DL, Vaccaro AR, et al. Transpedicle screw fixation of the cervical spine. *Clin Orthop* 1999;359:77–88.
14. Richter M. Dorsale Instrumentierung der Halswirbelsäule mit dem „neon occipito-cervical system“. Teil 1: Atlantoaxiale Instrumentierung. *Oper Orthop Traumatol* 2003;15:70–89.
15. Richter M, Amiot L-P, Neller S, et al. Computer assisted surgery in posterior instrumentation of the cervical spine – an in-vitro feasibility study. *Eur Spine J* 2000;9:Suppl 1:565–70.
16. Richter M, Amiot L-P, Puhl W. Computernavigation bei der dorsalen Instrumentierung der HWS – eine in-vitro Studie. *Orthopäde* 2002;31:372–7.
17. Richter M, Mattes T, Cakir B. Computer assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine. *Eur Spine J* 2004;13:50–9.
18. Schmidt R, Wilke H-J, Claes L, et al. Pedicle screws enhance primary stability in multilevel cervical corpectomies: biomechanical in-vitro comparison of different implants including angle- and non-angle stable instrumentations. *Spine* 2003;28:1821–8.
19. Seybold EA, Baker JA, Criscitiello AA, et al. Characteristics of unicortical and bicortical lateral mass screws in the cervical spine. *Spine* 1999;24:2397–403.
20. Ugur HC, Attar A, Uz A, et al. Thoracic pedicle: surgical anatomic evaluation and relations. *J Spinal Disord* 2001;14:39–45.
21. Yonenobu K, Fuji T, Ono K, et al. Choice of surgical treatment for multisegmental cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 1985;10:710–6.

### Korrespondenzanschrift – Address for Correspondence

Priv.-Doz. Dr. Marcus Richter  
Wirbelsäulenzentrum  
St. Josefs-Hospital  
Solmsstraße 15  
D-65189 Wiesbaden  
Telefon (+49/611) 177-3701, Fax -3702  
E-Mail: mrichter@joho.de