

## Dorsale Stabilisation der Halswirbelsäule und der oberen Brustwirbelsäule mit dem CerviFix®

### Posterior Stabilization of the Cervical and Upper Thoracic Spine with the CerviFix®

Bernard Jeanneret, Stefan Schären<sup>1</sup>

#### Zusammenfassung

##### Operationsziel

Dorsale Fixation des okzipitozervikalen Übergangs, der oberen und unteren Halswirbelsäule (HWS) sowie der oberen Brustwirbelsäule (BWS) mit dem CerviFix®-Stabsystem, einem modularen Zuggurtungssystem aus Titan. Auf einem modellierbaren Stab können verschiedene Backen angebracht werden, die an den Stab fixiert werden. Durch die Backen hindurch werden 3,5-mm-Schrauben eingebracht, die am Okziput sowie an jedem Bewegungssegment der HWS und BWS optimal verankert werden können.

##### Indikationen

Okzipitozervikale Instabilitäten sowie Instabilitäten der oberen HWS (Fehlbildungen, Tumoren, Infekte, aseptische entzündliche Veränderungen, posttraumatische Zustände).  
Instabilitäten der unteren HWS, sofern die ventrale Säule erhalten ist (iatrogene, posttraumatische, degenerative oder entzündlich bedingte Instabilitäten, Tumoren).  
Degenerative oder posttraumatische schmerzhafte Zustände der unteren HWS.  
Zusatzstabilisation ventraler Spondylodesen der HWS und oberen BWS.

##### Kontraindikationen

Fehlende Stabilität der vorderen Säule in Kompression, z.B. posttraumatische, infektbedingte oder tumoröse Destruktionen von Wirbelkörpern.

##### Operationstechnik

Schraubenverankerung im Okziput, in den Facettengelenken der HWS sowie den Pedikeln der oberen BWS entsprechend den zu fusionierenden Segmenten. Verbindung von Längsstangen und Schrauben mit speziellen Backen und Querverbindern. Anlagerung von autogenem Knochenmaterial.

#### Abstract

##### Objective

Posterior stabilization of the occipitocervical junction, the upper and lower cervical spine (C-spine), and the upper thoracic spine (T-spine) using the CerviFix® rod system, a modular tension band system made of titanium. Various connectors are attached to the pliable rod. 3.5-mm screws are inserted through the connectors into the occiput and into each motion segment of C- and T-spine in an optimal position.

##### Indications

Occipitocervical and upper C-spine instabilities (malformations, tumors, infections, aseptic inflammatory lesions, posttraumatic conditions).  
Instabilities of the lower C-spine on the condition that the anterior column is intact (iatrogenic, posttraumatic instabilities caused by degenerative or inflammatory processes, tumors).  
Degenerative or posttraumatic painful conditions of the lower C-spine.  
Additional posterior stabilization after anterior spondylosis of the C-spine or upper T-spine.

##### Contraindications

Absent stability of the anterior column due to vertebral body destruction caused by trauma, infection, or tumors.

##### Surgical Technique

Insertion of screws into the occiput and/or into the lateral masses or pedicles of the C-spine or upper T-spine depending on the level to be fused. Adaptation of rods and their attachments to the screws with the help of connectors. Addition of autogenous cancellous bone grafts.

Operat Orthop Traumatol 2004;16:89–116

DOI 10.1007/s00064-004-1096-9

---

<sup>1</sup> Orthopädische Universitätsklinik, Kantonsspital Basel, Schweiz.

### Ergebnisse

Das CerviFix®-System hat sich zur operativen Behandlung verschiedenster pathologischer Zustände bei 54 Patienten (26 Frauen, 19 Männer, Durchschnittsalter 59 Jahre) bewährt. 47 Patienten konnten nachkontrolliert werden (durchschnittliche Nachkontrollzeit: 20 Monate). Bei allen Patienten wurde die Fusion als geheilt beurteilt. Implantatbedingte Komplikationen waren nicht feststellbar.

### Schlüsselwörter

Halswirbelsäule · Dorsale Spondylodese · Stabsystem · Fixateur · CerviFix®

### Results

The CerviFix® system was used for various pathologic conditions in 54 patients (26 women, 19 men, average age 59 years). Average duration of follow-up of 47 patients was 20 months. Bony fusion was obtained in all. We did not see any implant-associated complications.

### Key Words

Cervical spine · Posterior fusion · Internal fixation · Cervical instability

### Operationsprinzip und -ziel

Das CerviFix®-Stabsystem dient der operativen Stabilisierung des okzipitozervikalen Übergangs, der oberen und unteren Halswirbelsäule (HWS) sowie der oberen Brustwirbelsäule (BWS) bei unterschiedlichen pathologischen Zuständen. Es ermöglicht eine völlig implantatunabhängige und somit eine der individuellen Anatomie angepasste Schraubeneinführung. Die geringen Dimensionen des Implantats erleichtern die in jedem Fall notwendige reichliche Anlagerung von Spongiosa zur definitiven Spondylodese.

### Surgical Principles and Objective

The titanium CerviFix® rod system is used for surgical stabilization of the occipitocervical junction, the upper and lower cervical spine (C-spine), and the upper thoracic spine (T-spine) affected by various pathologic conditions. It allows to adapt the positioning of screws to the individual anatomy, and their positioning does not depend on the rod. The rather small size of the implant always permits generous apposition of cancellous bone to ensure uneventful fusion.

### Vorteile

- Sämtliche Schrauben, die zur Verankerung des Systems benutzt werden, können anatomisch optimal und individuell platziert werden.
- Mit dem System können Stabilisationen vom Okziput bis zur oberen BWS durchgeführt werden. Beim Kleinkind sind auch Stabilisationen im BWS- und LWS-(Lendenwirbelsäulen-)Bereich möglich.
- Ein beliebiges Stabsystem an der BWS kann mit dem CerviFix® nach kranial verlängert werden.
- Der Stab liegt lateral über den Gelenkmassiven. Dadurch verbleibt immer genügend Platz, um Spongiosa über die Gelenkmassive anzulagern, auch nach einer ausgedehnten Laminektomie.
- Postoperative Magnetresonanztomographien (MRT) sind möglich.
- Geringe Irritation der Weichteile durch die kleinen Dimensionen des Implantats.

### Advantages

- Optimal placement of every screw needed for anchorage of the system.
- The system allows stabilization from the occiput to the upper T-spine. In toddlers, stabilizations of the C-spine, the T-spine, and the lumbar spine (L-spine) are possible depending on the age.
- Possibility to cranially extend any rod system used at the T-spine with the CerviFix®.
- Lateral placement of the rod over the lateral masses of the C-spine leaving sufficient space for apposition of cancellous bone, even in the presence of extensive laminectomies.
- Postoperative magnetic resonance imaging (MRI) possible.
- Little soft tissue irritation given the small size of the implant.

### **Nachteile**

- Der CerviFix® als Zuggurtungssystem kann nur angewendet werden, wenn die vordere Säule intakt, d.h. kompressionsstabil ist. Dies kann entweder primär oder nach entsprechendem Wiederaufbau eines ventralen Defekts der Fall sein.
- Hohe Kosten des Systems.

### **Indikationen**

- Okzipitozervikale Instabilitäten sowie Instabilitäten der oberen HWS (Fehlbildungen, Tumoren, Infekte, aseptische entzündliche Veränderungen, posttraumatische Zustände).
- Instabilitäten der unteren HWS, sofern die ventrale Säule erhalten ist (iatrogene, posttraumatische, degenerative oder entzündlich bedingte Instabilitäten, Tumoren).
- Degenerative oder posttraumatische schmerzhaft Zustände der unteren HWS.
- Zusatzstabilisation ventraler Spondylodesen der HWS und oberen BWS.
- Bei Kleinkindern sind auch dorsale Stabilisationen im BWS- und LWS-Bereich möglich.

### **Kontraindikationen**

- Fehlende Stabilität der vorderen Säule in Kompression, z.B. posttraumatische, infektbedingte oder tumoröse Destruktionen von Wirbelkörpern.

### **Patientenaufklärung**

- Allgemeine Operationsrisiken.
- Bei allen größeren Eingriffen an der HWS und BWS besteht ein geringes, nicht näher quantifizierbares Risiko einer Tetra- bzw. Paraparese/-plegie. Ferner besteht auch die Gefahr einer Nervenwurzelläsion, z.B. durch irrtümlicherweise falsch platzierte oder zu lange Schrauben.
- Risiko einer Pseudarthrose und eines Metallbruchs, z.B. wenn die verordnete postoperative Ruhigstellung der HWS nicht eingehalten wird.
- Wundheilungsstörungen und Infektion.
- Eingeschränkte Beweglichkeit der HWS.
- Rasur der Hinterkopfhaare erforderlich.
- Lange und evtl. breite Narbe am Nacken.
- Postoperative Ruhigstellung in einer Orthese notwendig.

### **Operationsvorbereitung**

- Neurologische Untersuchung.
- Röntgenkontrolle der HWS anteroposterior (a.p.) und seitlich, evtl. auch der BWS, ferner Funktions-

### **Disadvantages**

- The use of the CerviFix® as a tension band device is only possible in the presence of an intact anterior column able to resist compression. The intactness of the column can be either primary or after reconstruction of an anterior defect.
- Considerable cost of the system.

### **Indications**

- Occipitocervical and upper C-spine instabilities (malformations, tumors, infection, aseptic inflammatory processes, posttraumatic instabilities).
- Instabilities of the lower C-spine on the condition that the anterior column is intact (iatrogenic, posttraumatic, degenerative, inflammatory, or tumoral instabilities).
- Degenerative or posttraumatic painful conditions of the lower C-spine.
- Posterior stabilization after anterior spondylodesis of the C-spine or upper T-spine.
- Instabilities of the C-, T- and L-spine in toddlers.

### **Contraindications**

- Absent stability in compression of the anterior column such as after posttraumatic, infectious or tumoral destruction of vertebral bodies.

### **Patient Information**

- Usual surgical risks.
- Risk of quadri- or paraparesis/-plegia after more extensive interventions. This risk is small and cannot be quantified exactly.
- Risk of damage to nerve roots due to malpositioned or too long screws.
- Risk of pseudarthrosis and metal breakage, in particular, if the recommended postoperative immobilization is not respected.
- Wound healing disturbances and infection.
- Decreased range of motion of the C-spine.
- Shaving of occipital region necessary.
- Extended and sometimes broad scar at the neck.
- Need for orthosis to be worn postoperatively.

### **Preoperative Work Up**

- Neurologic assessment.
- Anteroposterior (AP) and lateral radiographs of C-spine and, if indicated, of T-spine. Bending and flexion/extension films. Computed tomography (CT) or MRI depending on the underlying condition.
- The patient should be brought into the operating room head first; this facilitates surgery and intraop-

aufnahmen der HWS, Computertomographie (CT) oder MRT je nach Fragestellung.

- Die Operation sowie etwaige intraoperative Bildverstärkeruntersuchungen werden erleichtert, wenn der Patient mit dem Kopf voran in den Operationsaal gebracht wird. Der Anästhesist steht am Fußende des Operationstisches.

### **Instrumentarium und Implantate**

- Bipolare Koagulation.
- Knochenwachs.
- Selbsthaltende Wundspreizer, Langenbeck-Haken und kleine Hohmann-Hebel.
- Sauger mit dünnem und dickem Rohr.
- CerviFix®-System (Stratec Medical, 4436 Oberdorf, Schweiz), bestehend aus zwei verschiedenen Titanstäben sowie verschiedenen Backen und Haken (Abbildungen 1 und 2).
- 3,5-mm-Verschraubungsset mit langen Bohrern und Gewindeschneidern.
- Raspatorien, feine Dissektoren.
- Hohlmeißelzangen und Laminektomiestanzen, fein und grob.
- Instrumentarium für die Spanentnahme einschließlich oszillierender Säge mit großen und kleinen Sägeblättern.
- Eventuell Cerclage-Draht und Knochenzement.

### **Anästhesie und Lagerung**

- Vorgehen bei instabiler HWS (z.B. Os odontoideum, Frakturen): Allgemeinnarkose mit endoskopischer nasotrachealer Intubation. Bei der üblichen Intubationstechnik könnten sich die Wirbel unkontrolliert verschieben.
- Vorgehen bei stabiler HWS: Übliche Intubationsnarkose.

### **Umlagerung vom Bett auf den Operationstisch**

- Vorgehen bei instabiler HWS: Nach der Intubation „En-bloc-Umlagerung“ des Patienten auf den Operationstisch in die Bauchlage. Der Operateur schiebt dabei manuell die HWS und achtet darauf, dass sie ständig in ihrer Stellung relativ zum Oberkörper unverändert bleibt. Nach der Umlagerung sofortige radiologische Kontrolle der HWS-Stellung mit dem Bildverstärker.
- Vorgehen bei stabiler HWS: Das Vorgehen ist grundsätzlich identisch, die Bildverstärkerkontrolle erübrigt sich jedoch.

erative image intensification. The anesthetist takes his place at the foot end of the table.

### **Surgical Instruments and Implants**

- Bipolar cautery.
- Bone wax.
- Self-retaining retractors, Langenbeck retractors, small Hohmann retractors.
- Aspirators, small and heavy gauge tubing.
- CerviFix® system (Stratec Medical, 4436 Oberdorf, Switzerland), comprising two different rods as well as various connectors and hooks (Figures 1 and 2).
- 3.5-mm screw set with long drill bits and taps.
- Periosteal elevators (Cobb), small dissectors.
- Rongeurs and Kerrisons, small and large.
- Set for bone graft harvesting including oscillating saw with large and narrow blades.
- Available: cerclage wire and bone cement.

### **Anesthesia and Positioning**

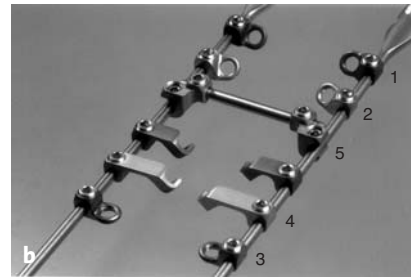
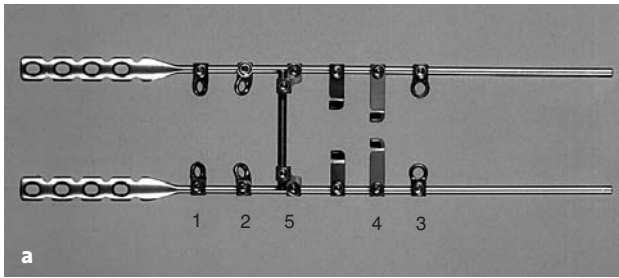
- Procedure in the presence of an unstable C-spine (os odontoideum, fractures): general anesthesia with endoscopic nasotracheal intubation. A routine intubation may cause an unwarranted displacement of vertebrae.
- Procedure in instances of a stable C-spine: standard intubation.

### **Transfer from Bed/Stretcher to Operating Table**

- Procedure to follow for unstable C-spines: after intubation, transfer of the patient en bloc to the operating table and prone positioning. The surgeon stabilizes the C-spine manually and makes sure that no change of the C-spine relative to the body occurs during transfer and positioning. After transfer, immediate image intensifier control of the C-spine.
- Procedure to follow for stable C-spines: details of the transfer are identical, an image intensifier control, however, is not necessary.

### **Positioning on the Operating Table (Figure 3)**

- Prone, respecting the usual precautions for proper ventilation and avoidance of pressure points and venous stasis of the lower body half. We use a modification of the Relton-Hall frame.
- Prevention of pressure points at the level of the patella through placement of cushions under the distal thigh, a soft roll is placed under the ankles.
- The patients are wearing TED stockings.
- The head is positioned in a head cup.
- Arms are placed along the body.



**Abbildungen 1a und 1b**

Implantate.

a) Stäbe: Es existieren zwei verschiedene Stäbe, beide mit einer Dicke von 3,5 mm: ein einfacher Stab, der für die untere HWS und obere BWS benutzt wird, und ein für die Stabilisation am Okziput entwickelter Stab, der deshalb an einem Ende in eine 3,5-mm-AO-Rekonstruktionsplatte übergeht [13]. Die Stäbe werden auf die gewünschte Länge gekürzt und der Anatomie entsprechend verbogen.

b) Backen: Die verschiedenen Backen ermöglichen sämtliche Schraubenlagen, die wir an der oberen und unteren HWS sowie an der BWS kennen [2, 4–7, 9–11]. Die Schraubenrichtung ist in der Backe entsprechend vorgegeben; die Schraube hat jedoch in der Backe einen Freiheitsgrad von 10° nach allen Seiten. Die Versatilität kann durch leichtes Schwenken der Backe auf dem Stab zusätzlich erhöht werden. Falls erwünscht, können Verriegelungsschrauben der ventralen HWS-Platte nach Morscher et al. [12] verwendet werden. Dazu sind die Schrauben winkelstabil mit dem Implantat verbunden.

- 1: Für die Implantation einer transartikulären Schraube C1/2 [5, 6, 10] steht eine Backe zur Verfügung, die eine Kranialneigung von 45° aufweist.
- 2: Für die Implantation der Schrauben im Gelenkmassiv der unteren HWS wurde eine Backe entwickelt, die eine kraniale Neigung von 45° mit gleichzeitiger lateraler Neigung von 25° der Schraube erlaubt [11].
- 3: Schließlich steht eine Backe zur Verfügung, die eine nach ventral gerichtete Schraubenlage gestattet, wie sie für die transpedikuläre Verschraubung im oberen BWS-Bereich oder auch für die Verankerung in C2 benötigt wird. Diese Backe kann auch für die Schraubenverankerung im Querfortsatz der BWS oder für die transpedikuläre Verschraubung im unteren HWS-Bereich benutzt werden [9].
- 4: Backen mit Laminahaken stehen in zwei Größen zur Verfügung: Sie können entweder kranial oder kaudal um die Lamina geführt werden.
- 5: Backen für Querstabilisator: Dieser Querstabilisator ist zur Anwendung bei ausgedehnten Laminektomien gedacht. Er erhöht nicht nur die Stabilität der Montage (dies ist meist irrelevant), sondern schützt auch das Rückenmark und kann als Verankerung für die Refixation der Halsmuskulatur dienen.

**Figures 1a and 1b**

Implants.

a) Rods: two different rods are available, both have a diameter of 3.5 mm. One is a simple rod for use at the lower C-spine and the T-spine. The other has been developed for the occipitocervical stabilization and, consequently, one end is fashioned resembling a 3.5-mm AO reconstruction plate [13]. The rods can be shortened to the desired length and adapted to fit the anatomic situation.

b) Connectors: the various connectors permit all screw positions that are necessary for the upper and lower C-spine and the T-spine [2, 4–7, 9–11]. The direction of the screw in the connector is predetermined by the connector; it has, however, a 10° of freedom in all directions. This versatility can be augmented by a slight swiveling of the connector on the rod. If desired, locking screws of the anterior cervical locking plate (AO-CSLP) developed by Morscher et al. [12] can be used. This permits obtaining an angular stability between screw and implant.

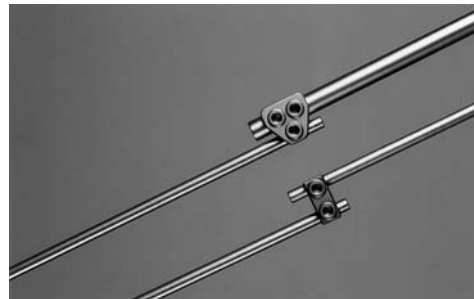
- 1: a connector with a cranial inclination of 45° is available for the insertion of a transarticular screw C1/2 [5, 6, 10].
- 2: a connector with a cranial inclination of 45° and a lateral inclination of 25° has been developed for insertion of screws into the lateral masses of the lower C-spine [11].
- 3: another connector allowing an anterior screw direction is available. It has been designed for transpedicular screw fixation of the upper T-spine or for anchorage into C2. In addition, this connector can be used for screw anchorage into the transverse processes of the T-spine or for transpedicular screw fixation in the lower C-spine [9].
- 4: connectors with lamina hooks are available in two sizes: they can be passed either cranial or caudal around the lamina.
- 5: connectors for transverse rods: these transverse stabilizers were designed for instances of extensive laminectomies. They not only increase the stability of the construct (relatively unimportant) but also protect the spinal cord. Moreover, they can be used to attach the neck muscles.

**Abbildung 2**

Parallelverbinder. Sie erlauben die Verlängerung eines beliebigen Stabsystems im BWS-Bereich mit dem CerviFix® im HWS-Bereich.

**Figure 2**

Parallel connectors. They permit to connect any rod system used in the T-spine with the CerviFix® implanted at the C-spine.



**Lagerung auf dem Operationstisch (Abbildung 3)**

- Bauchlage mit den üblichen Vorkehrungen zur Sicherung der Atmung und zur Vermeidung von Druckstellen sowie einer venösen Stase in der unteren Körperhälfte. Wir verwenden ein „Relton-Hall frame“-ähnliches Gestell.
- Die Kniescheiben werden durch Unterpolstern der distalen Oberschenkel vor Druckstellen geschützt, die Füße liegen mit dem Sprunggelenk auf einer weichen Rolle auf.
- Die Patienten tragen Kompressionsstrümpfe.
- Der Kopf liegt in einer Kopfschale.
- Die Arme sind an den Körper angelegt.
- Der Nacken ist bei kurzstreckigen Stabilisationen (zwei bis drei Segmente), soweit es ohne erneute Dislokation einer evtl. reponierten Luxation möglich ist, leicht flektiert (Bildverstärkerkontrolle). Für langstreckige Stabilisationen sowie besonders für okzipitozervikale Fusionen sollte der Nacken nicht flektiert sein. Der Kopf sollte möglichst in einer Neutralstellung „geradeaus“ schauen, damit während der Instrumentation keine Kyphose geschaffen und fixiert wird.

- For short fusions (two to three segments), the neck should be positioned in slight flexion as long as no risk exists for a recurrence of the reduced dislocation (image intensifier control). A flexion of the neck is not indicated in instances of more extensive fusions, particularly of occipitocervical fusions. The head must be positioned straight in neutral position to avoid any kyphosis during instrumentation and fixation.

**Abbildung 3**

Lagerung auf dem Operationstisch.

**Figure 3**

Positioning on the operating table.



## Operationstechnik

Abbildungen 4 bis 24

### Technik der Schraubeninsertion

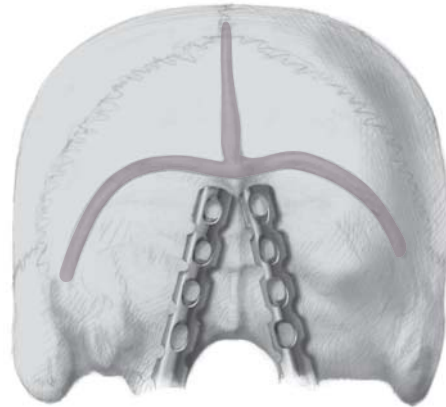
Bemerkungen zur Bohrtechnik: Die Gefahr einer Läsion von Gehirn, Nerven oder Gefäßen beim Austritt des Bohrers aus der Gegenkortikalis lässt sich mit Hilfe einer speziellen Bohrtechnik (sog. Stoß-Bohr-Technik) erheblich vermindern. Die Hand, welche die Bohrmaschine hält, wird mit der anderen am Handgelenk gefasst. Der Unterarm der sichernden Hand ist am Thorax oder auf der Schulter des Patienten abgestützt. Sie hilft beim Dosieren des Bohrdrucks und kann die den Bohrer führende Hand abfangen, falls der Widerstand beim Bohren plötzlich nachlässt. Der Bohrer wird jeweils nur 2–3 mm vorangetrieben, gestoppt, etwas zurückgezogen und wieder bis zum Knochenkontakt vorgeschoben. Bohren der nächsten 2–3 mm. Diese Technik wird immer dann angewendet, wenn eine Perforation der Kortikalis erwartet wird, und so lange fortgesetzt, bis entweder kein Knochenkontakt mehr fühlbar ist oder die Perforation der Vorderwand am Nachlassen des Bohrwiderstands bemerkt wird. Mit dem Schraubenlängen-Messgerät wird geprüft, ob die Gegenkortikalis tatsächlich perforiert ist. Falls der Knochenkontakt beim Vorschieben des Bohrers nicht sicher gefühlt werden kann, darf nicht weiter gebohrt werden. In diesem Fall ist der Schraubenkanal mit dem stumpfen Ende eines Kirschner-Drahts oder dem Schraubenlängen-Messgerät vorher auszutasten.

## Surgical Technique

Figures 4 to 24

### Technique of Screw Placement

Remarks concerning the technique of drilling: the risk of injuring brain, nerves, and vessels after exiting of the drill bit from the opposite cortical wall can be reduced considerably by using a special drilling technique (guarded drill technique). The wrist of the hand that holds the drill is grasped with the other hand. The forearm of this hand rests on the patient's thorax or shoulder. This helps to control the pressure of drilling and to stop the pressure as soon as the resistance to drilling decreases. The drill bit is advanced only by 2–3 mm, drilling is then stopped, the drill slightly withdrawn and again advanced until a bony contact is felt. Drilling is then resumed to a depth of 2–3 mm. This step is repeated until no bony contact can be felt or until a decrease in resistance is felt. The perforation of the opposite cortical wall can be confirmed with the depth gauge. If during the advancement of the drill bit a bony contact cannot be felt definitively, drilling should not be continued. In this instance, the drill canal should be explored with the dull end of a Kirschner wire or with a depth gauge.



#### Abbildung 4

Schraubeninsertion am Okziput.

Die Schädelkalottendicke ist sehr variabel. Im Okziputbereich ist der Knochen in der Mittellinie am dicksten, während er bereits 2–3 cm von der Mittellinie entfernt wesentlich dünner ist. Die Schrauben sollten deshalb so nahe wie möglich an der Mittellinie platziert werden und sind immer bikortikal verankert. Um möglichst lange Schrauben verwenden zu können, ist es wichtig, das kraniale Plattenende des Stabs so nahe wie möglich an die Mittellinie zu bringen, und zwar direkt unterhalb der Protuberantia occipitalis externa. Im Schädelinneren liegt im Bereich der Protuberantia occipitalis externa der Confluens sinuum; in die Protuberantia selbst dürfen deshalb keine bikortikalen Schrauben eingesetzt werden.

Beim Bohren der Schraubenkanäle muss darauf geachtet werden, dass der Bohrer nach der Perforation der inneren Kortikalis das Gehirn nicht verletzt. Dazu verwenden wir eine spezielle Bohrtechnik (s.o.). Eine Alternative dazu stellt die Verwendung von variabel einstellbaren Bohrbüchsen dar, die ein Bohren über eine vordefinierte Tiefe erlauben. Die Bohrtiefe wird dabei so lange verlängert, bis die innere Kortikalis aufgebohrt ist, was nach jedem Bohrvorgang mit dem Längenmessgerät geprüft wird.

Auch bei sorgfältiger Bohrtechnik ist es möglich, dass die Dura am Schädelinneren verletzt wird und etwas Liquor aus den Schraubenkanälen austritt. Dies ist belanglos, da der Liquoraustritt nach dem Eindrehen der entsprechenden bikortikalen Schraube sistiert. Erforderlichenfalls kann etwas Knochenwachs den Liquorfluss bis zum Eindrehen der Schraube stoppen.

#### Figure 4

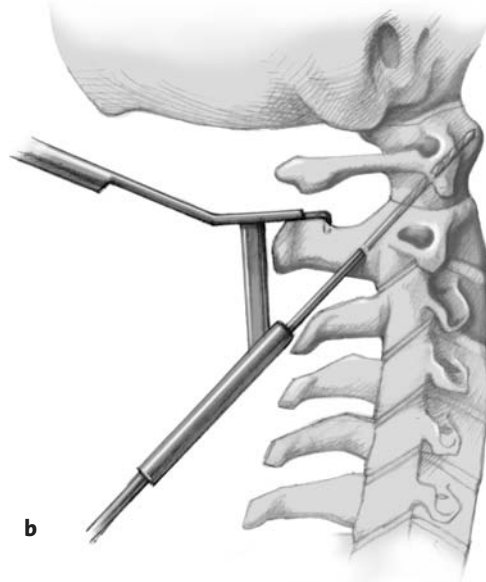
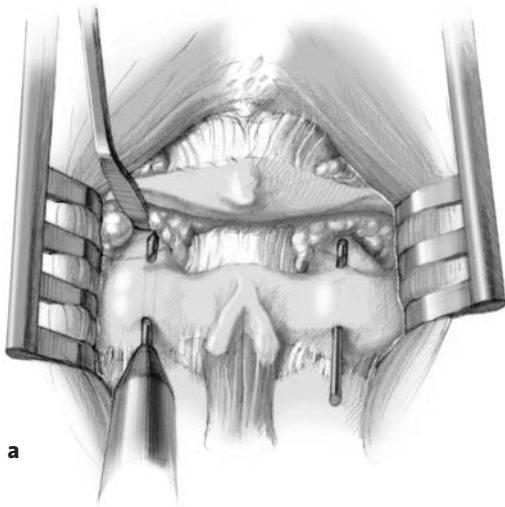
Screw insertion into the occiput.

The thickness of the skull varies considerably. The thickest part of the occiput is found at its midline. Already 2–3 cm more lateral it is much thinner. Therefore, the screws should be placed as close to the midline as possible and find purchase in the both laminae. The cranial end of the rods must be placed as close to the midline as possible, just below the external occipital protuberance; this allows the use of the longest screws possible. Inside the skull, the confluence of the venous sinuses lies at the level of the external occipital protuberance; consequently, bicortical screws should not be inserted into the protuberance itself.

During drilling care has to be taken not to injure the brain after perforation of the lamina interna. Therefore, the drilling technique described here is a must. An alternative procedure consists of the use of depth-adjustable drill sleeves allowing drilling to a predetermined depth. The depth of drilling is gradually increased and regularly measured with a depth gauge until the lamina interna has been perforated.

The dura may be injured in spite of a meticulous drilling technique, and cerebrospinal liquor may run through the drill hole. This is of no consequence, as the flow will stop as soon as the bicortical screw has been inserted. Temporarily, bone wax can be inserted into the drill hole.





**Abbildungen 5a und 5b**

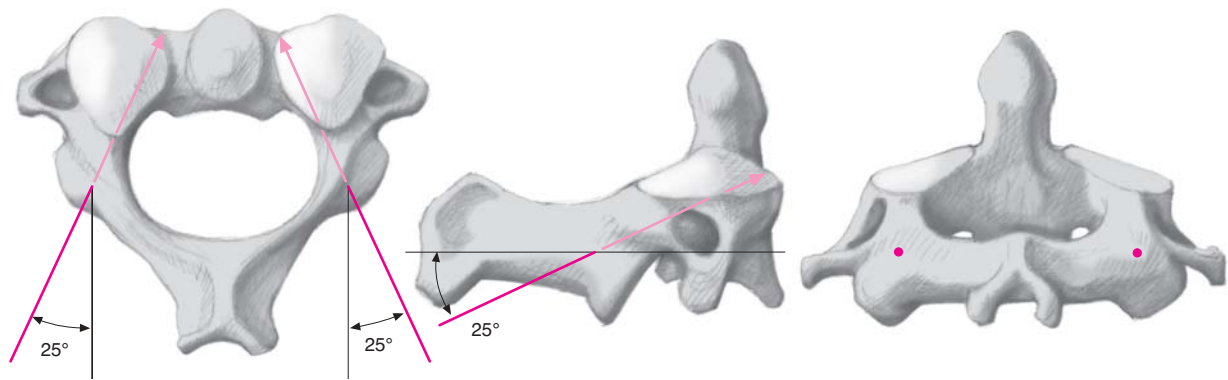
**Transartikuläre Verschraubung C1/C2.**

Der individuelle Verlauf der Arteria vertebralis muss bei jedem Patienten präoperativ im CT sorgfältig studiert werden. Um die Verschraubung C1/C2 vornehmen zu können, muss der Isthmus von C2 beidseitig subperiostal dargestellt werden (a). Der Schraubeneintritt in C2 liegt auf einer sagittalen Linie hinter dem Isthmus, direkt oberhalb des Gelenkfortsatzes von C2. Hier befindet sich häufig eine kleine anatomische Vertiefung, welche für den Bohreintritt benutzt werden kann. Unter seitlicher Bildverstärkerkontrolle wird der Bohrer so geneigt, dass er zum mittleren oder oberen Teil des vorderen Atlasbogens zielt. Der Bohrer wird streng sagittal mit der Stoß-Bohr-Technik und unter Bildverstärkerkontrolle vorangetrieben. Er muss nahe an der hinteren Kortikalis des Isthmus vorbeizielen, um die ventral davon verlaufende Arteria vertebralis zu schonen. Dabei kann ein speziell zu diesem Zweck entwickeltes Zielgerät sehr hilfreich sein (b) [1]. Der Bohrer wird durch das Atlantoaxialgelenk bis zur vorderen Kortikalis des Atlas vorangetrieben; Letztere wird perforiert. Der Bohrer wird nach dem Vorbohren des ersten Schraubenkanals in situ belassen, bis die Gegenseite instrumentiert und C1/2 stabilisiert sind. Das Gewinde wird immer bis über das atlantoaxiale Gelenk hinweg geschritten, um ein Wegschieben des Atlas beim Eindrehen der Schraube zu vermeiden.

**Figures 5a and 5b**

**Transarticular screw insertion C1/C2.**

The course of the vertebral artery must have been elucidated preoperatively by a CT given the individual variations. Prior to drilling and screw insertion into C1/C2, the isthmus of C2 must be exposed subperiosteally on both sides (a). The screw's entry point into C2 lies in a sagittal line behind the isthmus directly cranial to the articular process of C2. At this site, one often finds an anatomic depression that facilitates the start of drilling. The drill bit, as seen in the lateral imaging with the image intensifier, must be inclined in such a way as to point to the mid or upper part of the anterior arch of the atlas. The drill bit is advanced in a strictly sagittal direction under image intensifier control again employing the above described technique of drill bit advancement. The drill bit must pass close to the posterior cortex of the isthmus to avoid the vertebral artery lying anterior to it. Of help in obtaining the proper direction of drilling, a specially developed aiming device can be used (b) [1]. The drill bit is advanced through the atlantoaxial joint up to the anterior cortex of the atlas until it is perforated. The drill bit remains in place until the opposite side has been instrumented and C1/C2 stabilized. Tapping must reach beyond the atlantoaxial joint to avoid separation between atlas and axis during screw insertion.



**Abbildung 6**

**Schraubenverankerung in C2.**

Wegen der speziellen anatomischen Verhältnisse im Bereich von C2 unterscheidet sich die Schraubenplatzierung auf diesem Niveau von derjenigen in C3–C7.

Für die Verankerung einer Schraube in C2 kann dieselbe Schraubenrichtung wie für die transartikuläre Verschraubung benutzt werden. Das atlantoaxiale Gelenk wird hier allerdings nicht durchquert, und die Schraubenspitze wird subchondral platziert.

Eine andere hier dargestellte Möglichkeit besteht in der Platzierung der Schraube in den Isthmus von C2. Dazu wird der Bohrer 25° nach kranial und medial in Richtung auf die anteromediale Begrenzung des atlantoaxialen Gelenks gerichtet. Das Gewinde wird nur über eine Distanz von 1 cm geschnitten. Die Schraubenspitze wird auch hier subchondral platziert.

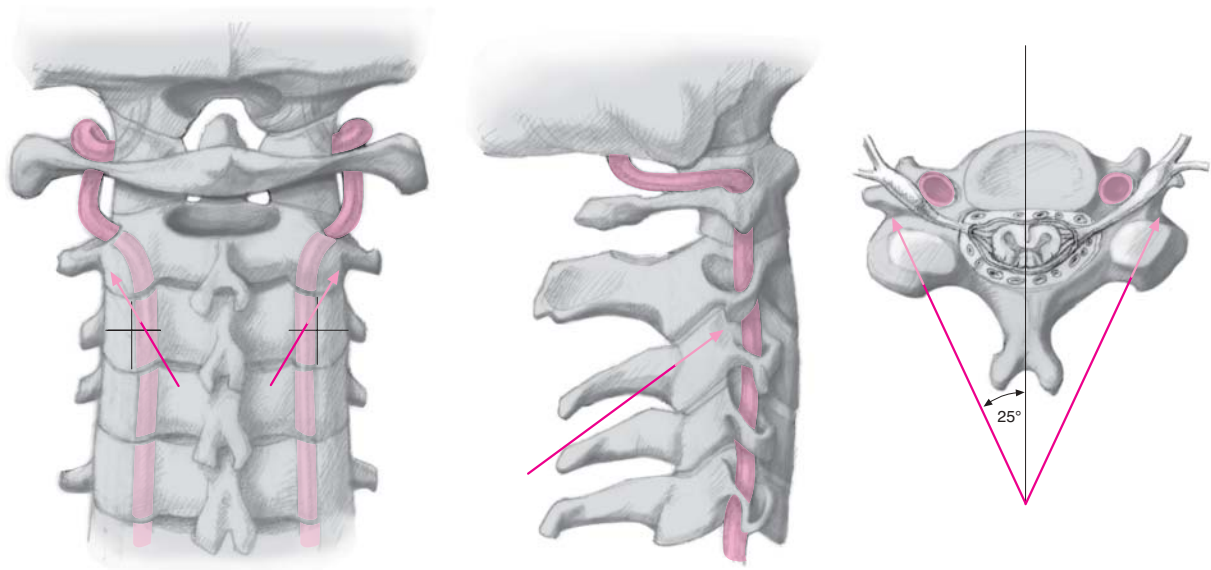
**Figure 6**

**Anchorage of screws in C2.**

On account of the particular anatomic conditions at C2, screw placement at this level is different from that at C3–C7.

For the anchorage of the screw in C2, the same screw direction as for the transarticular screw insertion can be used. However, the atlantoaxial joint is not crossed, the tip of the screw remaining subchondral.

Another possibility, shown here, consists of screw placement into the isthmus of C2. This necessitates a cranial and medial inclination of the drill bit by 25° in direction to the anteromedial border of the atlantoaxial joint. Tapping is limited to a depth of 1 cm. Also here, the tip of the screw lies subchondral.



**Abbildung 7**

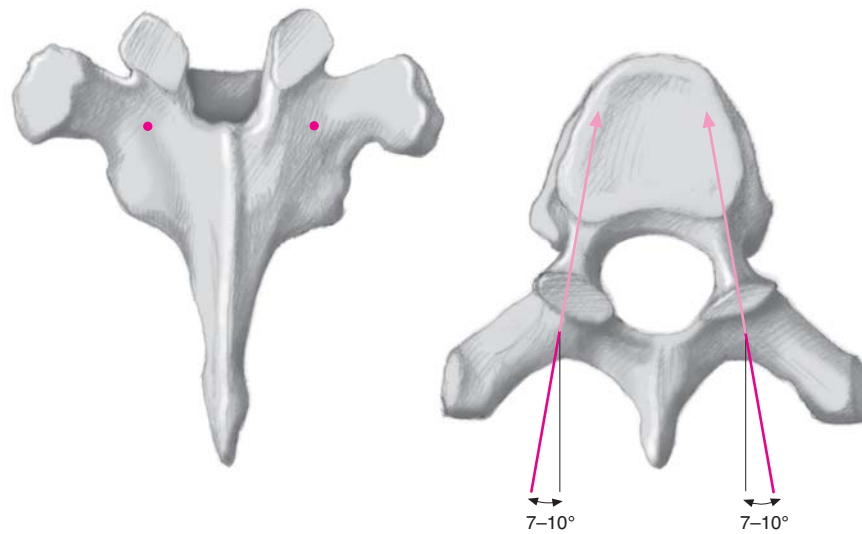
Schraubenverankerung in C3–C7.

Die Schraubeneintrittsstellen liegen 1–2 mm kranial und medial vom Zentrum des Gelenkfortsatzmassivs. Die Schraubkanäle liegen parallel zu den Flächen der Intervertebralgelenke und divergieren 25° nach lateral. Sie perforieren die ventrolaterale Kante des Gelenkfortsatzmassivs kranial. Die Richtung der Gelenkflächen kann mit einem in das Gelenk eingeführten dünnen Dissektor bestimmt werden. Die Schraubenlänge wird mit dem Längenmessgerät gemessen, das Gewinde nur bis zu einer Tiefe von 0,5 cm geschnitten. Mit der relativ stark divergierenden Schraubenrichtung wird das Risiko einer Verletzung der Arteria vertebralis minimiert. Trotzdem ist beim Bohren des Schraubenkanals Vorsicht geboten. Wenn der Bohrer durch die Vorderwand des Gelenkfortsatzes gestoßen wird und in die Weichteile vordringt, könnten ein Spinalnerv, kleinere Gefäße oder zumindest die Muskulatur beschädigt werden.

**Figure 7**

Anchorage of screws in C3–C7.

The screws' entry points lie 1–2 mm cranial and medial to the midpoint of the lateral masses. The drill holes lie parallel to the surfaces of the facet joints; they diverge laterally by 25°. They perforate the anterolateral border of the masses of the articular processes cranially. The direction of the articular surfaces can be determined with a small dissector introduced into the joint. The length of the screws is measured with the depth gauge, and tapping is limited to a depth of 0.5 cm. Thanks to the marked divergence of the screws, the risk of injury to the vertebral artery is minimized. Nevertheless, great care must be taken during drilling. Should the drill bit be pushed through the anterior cortex of the articular process into the soft tissues, injury to a spinal nerve, small vessels, or, at least, the muscles is a distinct possibility.



**Abbildung 8**

Transpedikuläre Schraubeninsertion an der BWS. Die Eintrittsstellen für die Schrauben werden unter Bildverstärkerkontrolle im a.p. Strahlengang aufgefunden und mit Kirschner-Drähten markiert. Ist die korrekte Eintrittsstelle definiert, wird der Schraubenkanal unter seitlicher Bildverstärkerkontrolle mit der Stoß-Bohr-Technik bis in die Mitte des Wirbelkörpers aufgebohrt. Mit dem Längenmessgerät wird der Schraubenkanal ausgetastet, um zu verifizieren, dass der Spinalkanal nicht eröffnet worden ist. Zudem wird die Schraubenlänge durch stumpfes Einführen des Längenmessgeräts bis zur vorderen Kortikalis gemessen. Das Gewinde wird nur bis zu einer Tiefe von 0,5 cm geschnitten. Sollten Schwierigkeiten beim Bohren auftreten, können die Schrauben zur Not auch im Processus transversus verankert werden [3]. Die Stabilität der Verankerung in der oberen BWS kann dadurch allerdings etwas beeinträchtigt werden. In solchen Fällen ist eine entsprechend längere äußere Ruhigstellung empfehlenswert.

**Figure 8**

Transpedicular screw insertion at the T-spine. The entry points of the screws into the lateral masses are determined in the AP plane under image intensifier control and marked with Kirschner wires. Once the entry points have been marked, drilling is done under image intensifier control in the lateral plane using the guarded drill technique up to the mid part of the vertebral body. The depth gauge is used to explore the drill hole to ascertain that the spinal canal has not been opened. The depth gauge is also used to determine the screw's length. Tapping is limited to a depth of 0.5 cm. Should difficulties arise during drilling, the screws may exceptionally be anchored in the transverse processes [3]. This, however, decreases the stability of anchorage in the upper T-spine; it will require a relatively longer external immobilization.

### Operationstechnik bei einer okzipitozervikalen Fusion, z.B. Co/C4

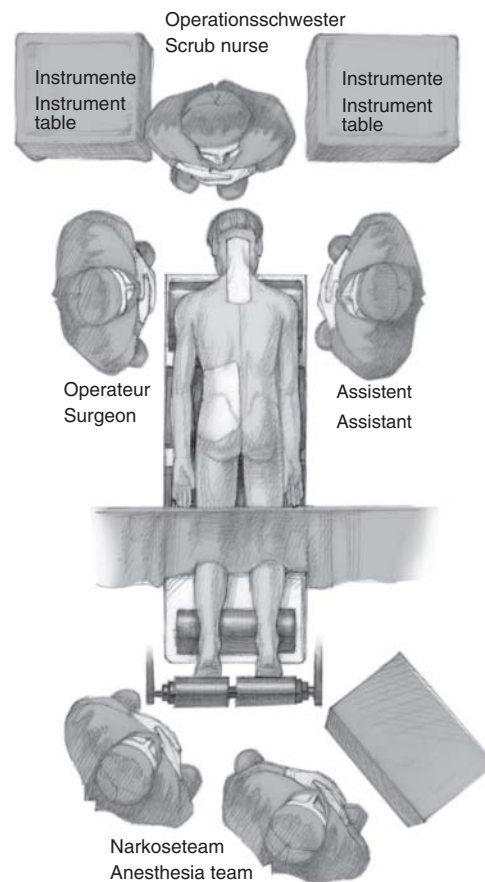
### Surgical Technique for Occipitocervical Fusion, e.g., Co/C4

#### Abbildung 9

Positionen des Patienten, des Operateurs, des Assistenten, der Operationsschwester sowie des Narkoseteams während der Operation.

#### Figure 9

Position of patient, surgeon, assistant, scrub nurse as well as the anesthesia team during surgery.

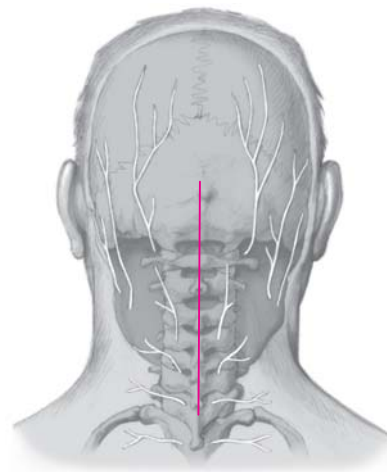


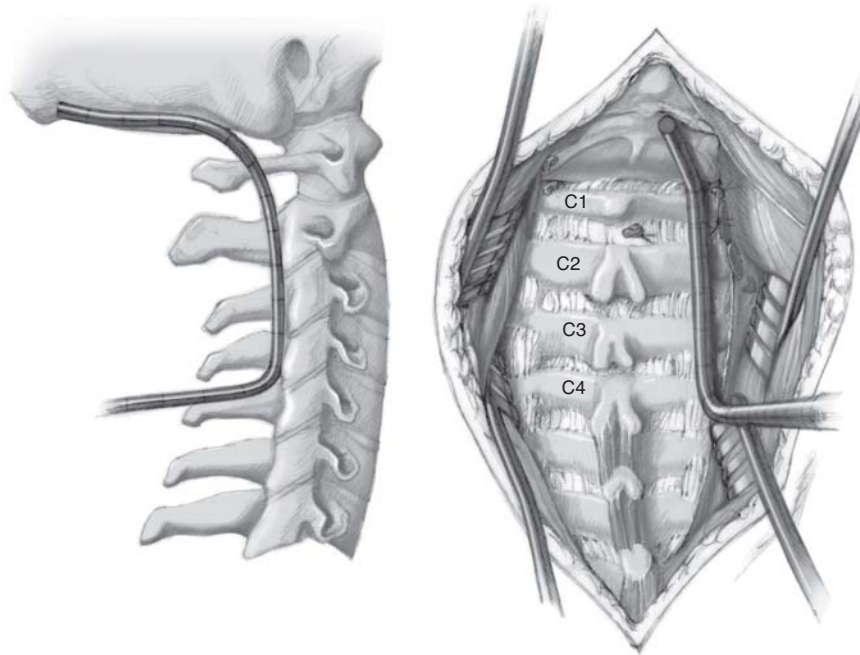
#### Abbildung 10

Hautschnitt genau in der Mittellinie, von der Protuberantia occipitalis externa bis zum Dornfortsatz C7. Subperiostales Darstellen des Okziputs, des hinteren Atlasbogens, der dorsalen Elemente von C2 sowie der Dornfortsätze, Wirbelbögen und Gelenkfortsätze C3 und C4, partiell C5. Für die transartikuläre Verschraubung C1/2 muss zudem der Isthmus von C2 beidseitig dargestellt werden.

#### Figure 10

Midline skin incision from the external occipital protuberance to the spinous process of C7. Subperiosteal exposure of occiput, the posterior arch of the atlas, the posterior elements of C2 as well as the spinous processes, posterior arches and articular processes of C3 and C4 and partially of C5. For the transarticular screw placement C1/2, the isthmus of C2 must also be exposed bilaterally.





#### Abbildung 11

Der Probestab wird dem Okziput genau angebogen, und zwar so, dass das kraniale Ende – an der Mittellinie angrenzend – unmittelbar kaudal der Protuberantia occipitalis externa liegt und der Stab im Bereich von C2, C3 und C4 über dem lateralen Rand der Gelenkfortsätze vorbeizieht. Zwischen Okziput und HWS besteht physiologischerweise mindestens ein Winkel von 90–100°. Der Probestab muss einen entsprechenden Winkel aufweisen. Mit diesem Probestab wird gleichzeitig auch die Länge des benötigten Stabs gemessen.

Der Titanstab mit dem plattenförmig konfigurierten Ende wird mit der Schneidezange entsprechend dem Probestab auf die richtige Länge geschnitten. Bei kleinen anatomischen Verhältnissen ist das Plattenende evtl. zu lang und muss um ein Loch gekürzt werden. Der Stab wird mit der Biegezange entsprechend dem Probestab gebogen. Die 90°- bis 100°-Biegung sollte am Übergang von Platte zu Stab liegen. Die korrekte Geometrie wird in situ geprüft.

Cave: Durch mehrfaches Hin- und Herbiegen wird der Titanstab geschwächt und kann brechen.

#### Figure 11

The trial rod is now exactly adapted to the occiput. Its cranial end must border the midline immediately caudal to the external occipital protuberance. At the level of C2, C3 and C4, the rod must lie over the lateral edge of the articular processes. Normally, an angle of, at least, 90–100° exists between occiput and C-spine. The trial rod must show a corresponding angulation. The rod is also used to determine the required length of the definite rod.

The titanium rod with its plate-shaped end is cut to the appropriate length determined by the trial rod with a cutter. Depending on the anatomic situation, it may become necessary to shorten the plate by one hole. Bending irons are used to give the rod the appropriate shape. The angle of 90–100° must lie at the junction between rod and plate. Checking of the correct shape in situ.

Nota bene: repeated bending back and forth weakens the titanium rod and may cause its breakage.

**Abbildung 12**

Eine etwaige atlantoaxiale Dislokation wird unter Bildverstärkerkontrolle reponiert, und beide Kanäle werden für die transartikulären Schrauben vorgebohrt. Der Spiralbohrer des einen Kanals wird in situ belassen, während der gegenseitige Kanal vorgebohrt und diese Seite instrumentiert wird. Der in situ belassene Bohrer dient der provisorischen C1/C2-Stabilisierung.

**Figure 12**

An atlantoaxial dislocation, if present, is reduced under image intensification. Drilling of both holes for the transarticular screws. The drill bit used to make the first hole is left in place during drilling of the second hole and instrumentation at this side. The drill bit temporarily left in place acts as a provisional C1/C2 stabilizer.

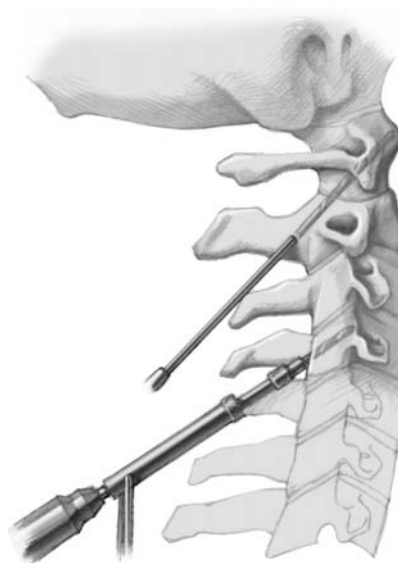


**Abbildung 13**

Anschließend wird der Schraubenkanal im kaudalsten der zu fusionierenden Wirbel (in unserem Beispiel C4) vorgebohrt.

**Figure 13**

Now the screw hole is drilled in the most caudal vertebra to be fused (in our example C4).

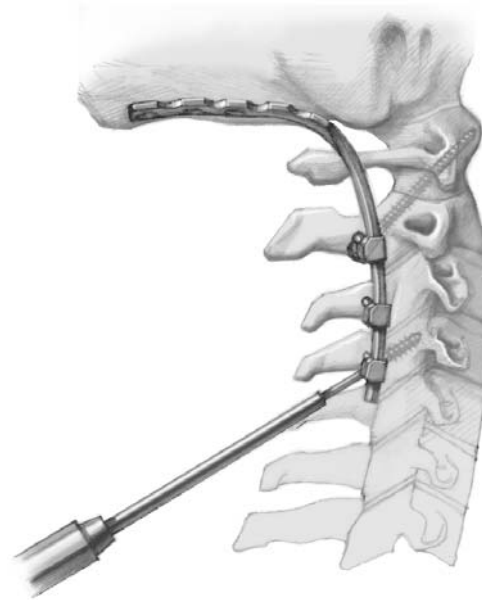


**Abbildung 14**

Sämtliche Backen, die für die definitive Fixation benötigt werden, werden auf den Stab montiert und leicht fixiert. Der Stab mit den Backen wird in den Operationssitus gehalten, und die Schraube C1/2 sowie die kaudalste Schraube werden durch ihre entsprechenden Backen eingesetzt, aber noch nicht angezogen.

**Figure 14**

All connectors needed for the definitive fixation are mounted on the rod and slightly fixed. The rod with the connectors is positioned, and the screw C1/2 and the most caudal screw are inserted through the connector, but not tightened.

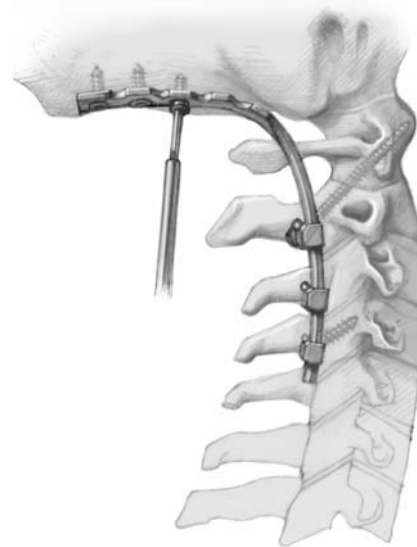


**Abbildung 15**

Nun wird das plattenförmig konfigurierte kraniale Ende des Stabs unmittelbar an die Mittellinie und die Protuberantia occipitalis externa gehalten, und die kranialste Schraube wird nach entsprechendem Vorbohren und Gewindeschneiden durch das Plattenloch hindurch eingedreht. Schließlich werden die zwei übrigen Schrauben im Okziput eingesetzt.

**Figure 15**

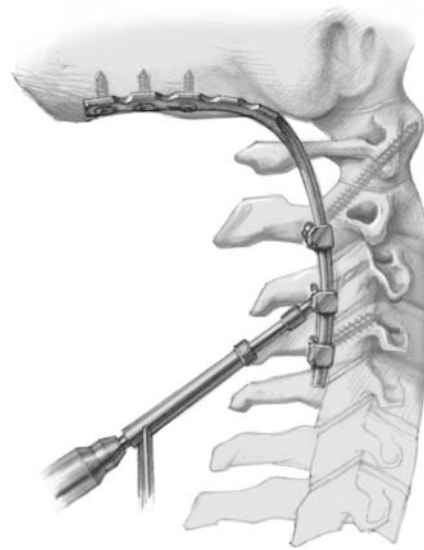
The plate-shaped end of the rod is brought to the midline just below the external occipital protuberance, and the most cranial screw is inserted through the hole in the plate after appropriate drilling and tapping. Thereafter, the two remaining screws are inserted into the occiput.





**Abbildung 16**

Die übrigen Backen, die sich zwischen C2 und dem kaudalsten Element befinden (in unserem Beispiel C3), werden in die optimale Stellung gebracht. Durch die Backe hindurch werden der Schraubenkanal vorgebohrt, die Schraubenlänge gemessen, das Gewinde geschnitten und die Schraube eingedreht.

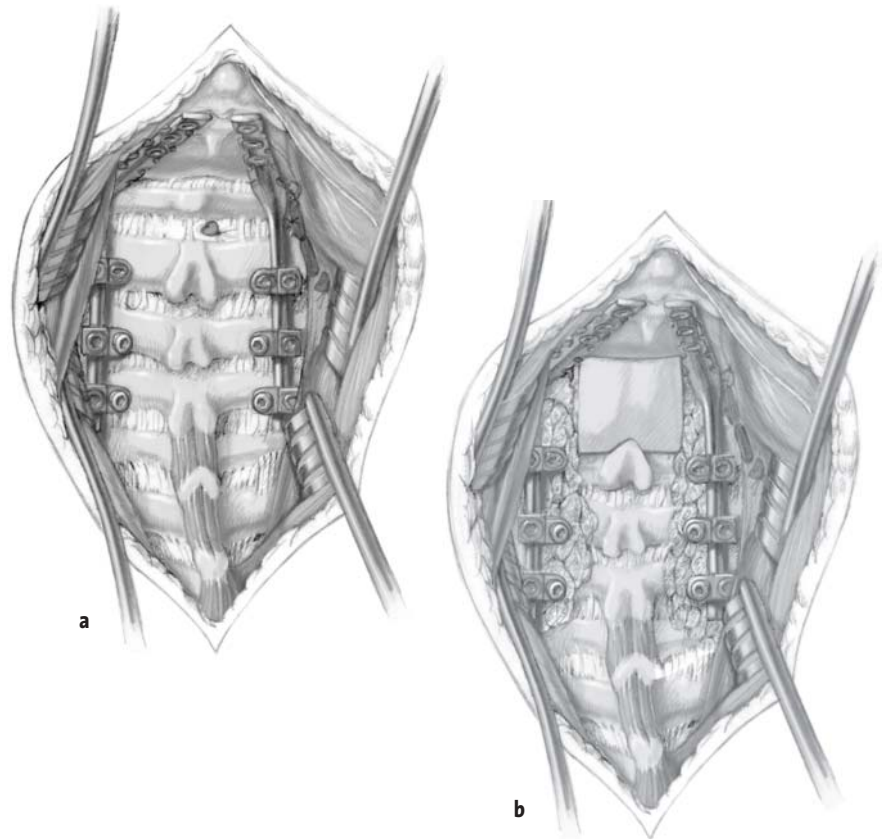


**Figure 16**

The remaining connectors that lie between C2 and the most caudal element (in our example C3) are brought into an optimal position. Drill holes into the bone are made through the connectors, the length of the screws is determined, the holes are tapped, and the screws inserted.

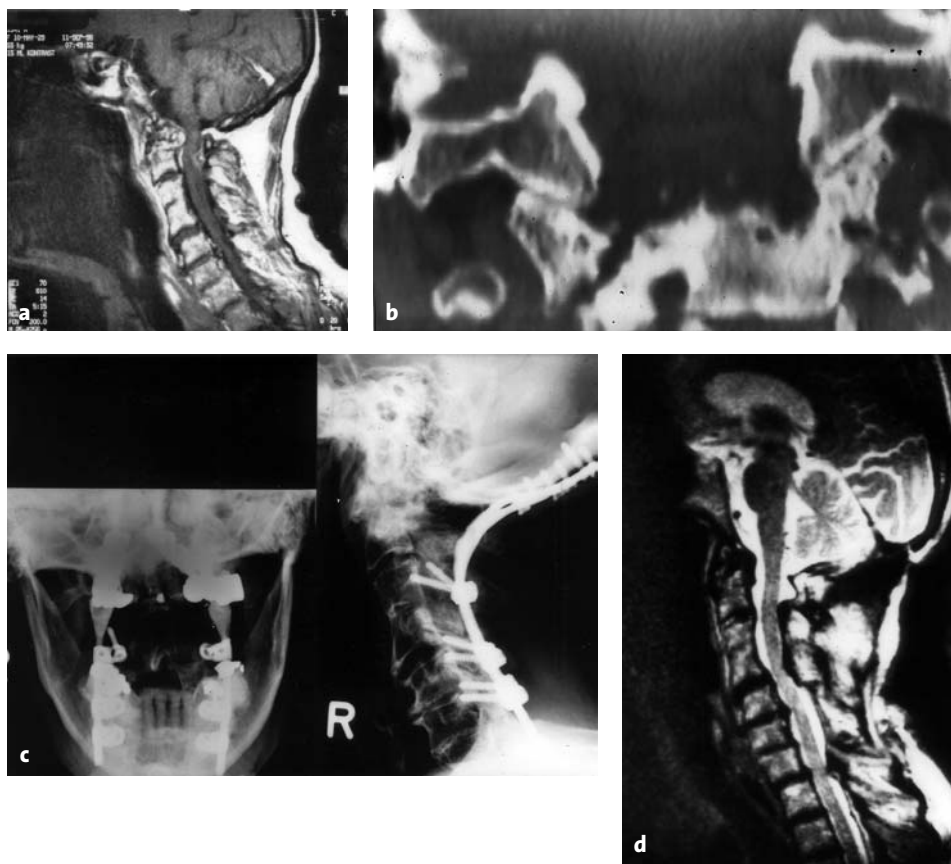
**Abbildungen 17a und 17b**

Nachdem die zweite Seite entsprechend instrumentiert worden ist (a), wird ein kortikospongioser Span vom hinteren Beckenkamm entnommen, wäsche-klammerartig konfiguriert und zwischen Okziput und Dornfortsatz C2 eingeklemmt (b). Dazu kann eine kleine horizontale Nut im Okziput gefräst werden. Zudem kann der Span auch mit einer um die CerviFix®-Stangen gelegten Cerclage an die Wirbelsäule gepresst und stabilisiert werden. Zusätzlich wird Spongiosa über die Massae laterales der zu fusionierenden Wirbel gelegt, unterhalb und medial der CerviFix®-Stangen.



**Figures 17a and 17b**

Once the opposite side has been instrumented (a), a corticocancellous bone graft is harvested from the posterior iliac crest (b). Notches are made at opposite ends for wedging between occiput and spinous process of C2. For better fitting, a small horizontal groove can be prepared with a burr in the occiput. In addition, the bone graft can be pressed against the spinal column with cerclage wires led around the rods. This increases the stability. Furthermore, cancellous bone is placed over the lateral masses of the vertebrae to be fused, anterior and medial to the CerviFix® rods.



**Abbildungen 18a bis 18d**

a) Diese 67-jährige Patientin ist wegen heftigster Nackenschmerzen seit mehreren Monaten in Behandlung. Einige Wochen vor der notfallmäßigen Hospitalisation trat eine rasch progrediente Tetraparese auf; zu diesem Zeitpunkt war die Patientin nicht mehr gehfähig. In der MRT besteht eine starke Einengung des Spinalkanals auf Höhe C1/2 aufgrund einer Denspseudoarthrose unklarer Ätiologie. Ferner liegt eine dorsale Einengung auf Höhe C5/6 vor (auf diesem Bild nicht gut zu erkennen).

b) Die Atlantoaxialgelenke sind beidseits destruiert.

c) Zur Dekompression des Rückenmarks wurden C1/2 reponiert, der Rand des Foramen magnum erweitert sowie eine Laminektomie C1, partiell C2, ferner C5/6 vorgenommen. In Anbetracht der ausgeprägten degenerativen Veränderungen der unteren HWS sowie der präexistenten spontanen Fusion C3/4 und C5/6 wurde nicht nur eine dorsale Stabilisation Co–C2, sondern Co–C6 vorgenommen. Postoperativ konnten wir eine drastische Verbesserung der zervikalen Myelopathie feststellen; nach wenigen Tagen war die Patientin wieder mit Hilfe gehfähig. 12 Monate postoperativ geht es der Patientin wesentlich besser, sie kann mit Stockhilfe gehen. Ihre invalidisierenden Nackenschmerzen sind verschwunden.

d) Die postoperative MRT der HWS zeigt eine Dekompression des vorher komprimierten Rückenmarks.

**Figures 18a to 18d**

a) This 67-year-old woman has been treated for several months on account of severe neck pain. A rapidly progressing quadriparesis appeared a few weeks before emergency admission; at this point, the patient was unable to walk. MRI showed a marked narrowing of the spinal canal at the level C1/C2 due to a pseudarthrosis of the dens of unknown etiology. The patient also had a posterior compression at the level C5/C6 (not well seen in this picture).

b) Both atlantoaxial joints are destroyed.

c) To decompress the spinal cord, the C1/C2 displacement was reduced, the foramen magnum enlarged, and a laminectomy C1 performed in addition to partial laminectomies of C2 and C5/C6. On account of the marked degenerative changes of the lower C-spine and the preexisting spontaneous fusion C3/4 and C5/6, a posterior stabilization Co–C6 was performed instead of a fusion Co–C2. An impressive improvement of the cervical myelopathy occurred postoperatively; after a few days, the patient was able to walk with help. 12 months postoperatively, the patient had improved further, she could now walk with canes. The severe neck pain had disappeared.

d) Postoperative MRI of the C-spine shows a decompression of the spinal cord.

## Operationsprinzip im unteren HWS-Bereich am Beispiel einer Fusion C3–6

### Abbildung 19

Die Schraubenkanäle für die kranialste (in unserem Beispiel C3) und kaudalste (C6) Backe werden wie oben beschrieben vorbereitet. In C7 ist der Gelenkfortsatz häufig kleiner als auf den übrigen Etagen, weshalb es ratsam sein kann, hier einen Laminahaken zu verwenden. Selbstverständlich kann aber auch eine Schraubenverankerung im Pedikel benutzt werden, wenn dies gewünscht oder notwendig ist.

### Figure 19

The drill holes into the bone through the most cranial (in our example C3) and the most caudal (C6) connector are prepared as described above. The articular process of C7 is often smaller than that of the other levels. Therefore, it is advisable to use a lamina hook for fixation in C7. Of course, a pedicle screw fixation can be used, if desired or necessary.

## Surgical Technique at the Lower C-Spine Using as an Example a Fusion C3–6



### Abbildung 20

Alle für die Montage vorgesehenen Backen werden auf den zurecht geschnittenen und entsprechend der Lordose gebogenen Stab montiert und provisorisch an diesem fixiert. Die Schrauben in C3 und C6 werden durch die entsprechenden Backen eingesetzt, aber nicht voll angezogen. Ist eine leicht dorsale Kompression (Lordosierung) erwünscht, kann die kraniale Backe etwas an die kaudale angenähert und am Stab fixiert werden. Wird jetzt die kraniale Schraube eingedreht, erzeugt sie beim vollen Anziehen eine intersegmentale Kompression und eine Lordosierung. Zu viel Kompression kann allerdings auch einen Ausriss der Schrauben bewirken.

### Figure 20

All connectors necessary for instrumentation are mounted on the rod that is cut to proper length and bent to obtain a lordosis. They are provisionally fixed to the rod. The screws C3 and C6 are introduced through the connector but not tightened.

If a slight posterior compression (causing a lordosis) is desired, the cranial connector is slightly approximated to the caudal connector and fixed on the rod. The tightening of the cranial screw produces an intersegmental compression and, thus, a lordosis. An exaggerated tightening and compression, however, may lead to screw avulsion.





**Abbildung 21**

Schließlich werden die intermediären Backen in die gewünschte Position gebracht, die Schraubenkanäle durch die Backen hindurch vorgebohrt und die Schrauben nach dem Längenmessen und Gewindeschneiden eingedreht. Die Backen müssen beim Anziehen der intermediären Schrauben entlang dem Stab gleiten können. Die Stellschrauben sollten erst am Schluss angezogen werden.

Nachdem beide Seiten instrumentiert sind, kann zur Erhöhung der Rotationsstabilität und zum Schutz der Dura (z.B. nach ausgedehnter Laminektomie) ein Querverbinder montiert werden. Schließlich wird unterhalb der Stangen sowie medial davon Spongiosa angelagert. Die Wunde wird schichtweise verschlossen; die Muskulatur kann am Querverbinder fixiert werden.

Cave: Nach einer Laminektomie muss darauf geachtet werden, dass die Spongiosa unter dem CerviFix® gut stabilisiert ist und nicht nach medial in den Spinalkanal verrutschen kann.

**Figure 21**

Finally, the intermediate connectors are brought into the desired position, the holes are drilled through the connectors, the length of the screws is determined, the holes are tapped, and the screws inserted. The connectors must be able to slide along the rod during screw tightening. The locking bolts should only be tightened at the very end.

Once both sides have been instrumented, the rotatory stability can be increased through the use of a transverse stabilizer. This protects the dura after extensive laminectomies. Cancellous bone is apposed anterior and medial to the rods. Closure of the wound in layers; the muscles can be attached to the transverse rods.

Nota bene: after a laminectomy, care has to be taken to solidly stabilize the cancellous bone under the rod to prevent a medial displacement into the spinal canal.

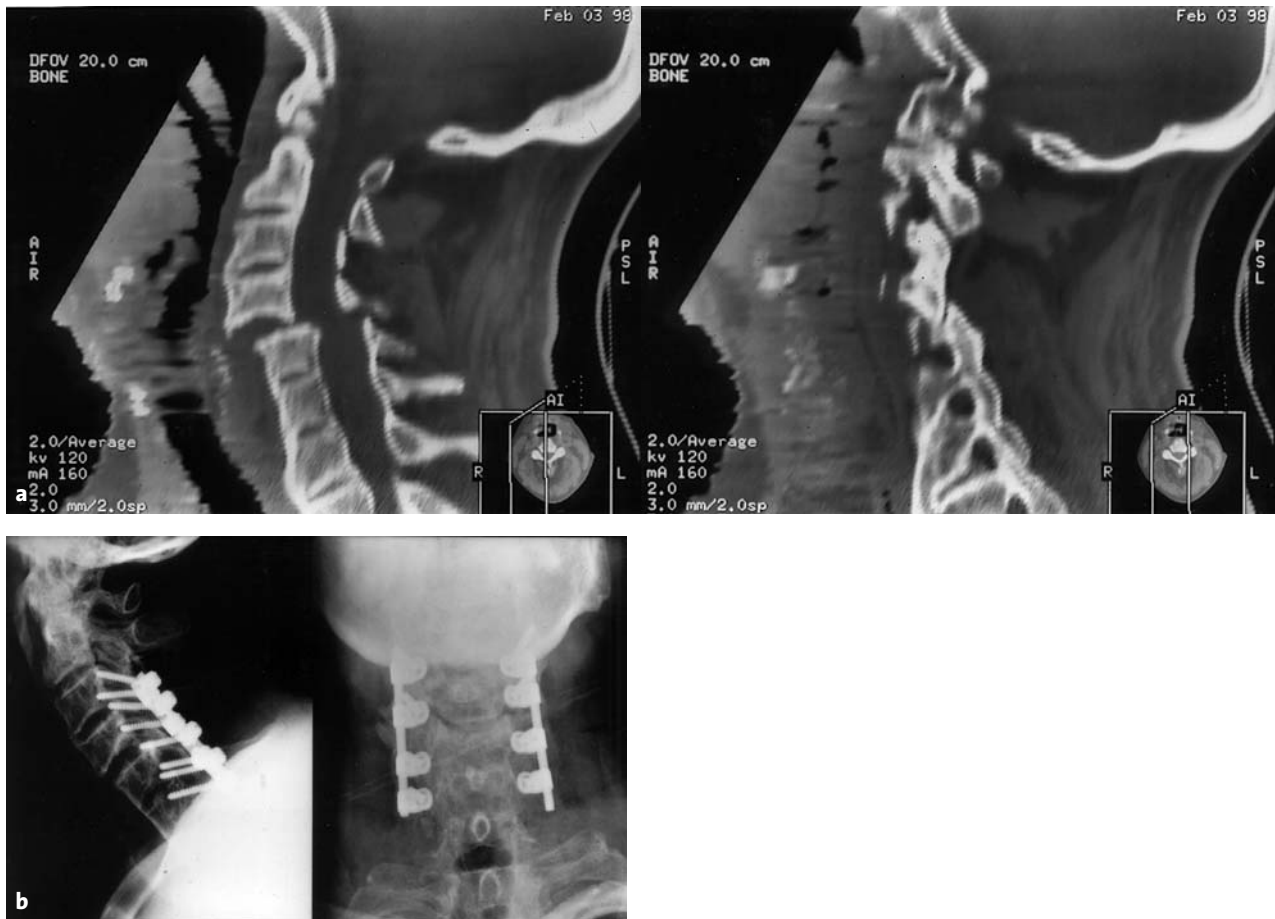


**Abbildungen 22a bis 22d**

- a) 50-jährige Patientin mit zervikaler Spinalstenose und progredienten Armschmerzen sowie Gefühlstörungen der Hände. Es bestehen starke Nackenschmerzen.
- b) Zur Dekompression des Rückenmarks wurde eine Laminektomie C3–6 mit Laminoplastik C4 vorgenommen. Wegen der starken Nackenschmerzen wurde gleichzeitig eine dorsale Fusion der degenerativ veränderten Bewegungssegmente C3–6 durchgeführt.
- c) Die intraoperativen Bilder zeigen den CerviFix® vor und nach der Spongiosaanlagerung. Medial und unterhalb der Implantate findet sich genügend Platz für die Spongiosaanlagerung.
- d) Die postoperative MRT zeigt die Dekompression des Rückenmarks. Trotz der Implantate lässt sich eine gute Bildqualität erzielen.

**Figures 22a to 22d**

- a) 50-year-old woman with spinal stenosis of the C-spine and progressive arm pain and sensibility disturbances of both hands as well as severe neck pain.
- b) A laminectomy C3–6 with laminoplasty C4 was done to decompress the spinal cord. To alleviate the severe neck pain, a posterior fusion of the degeneratively changed segments C3–6 was done at the same time.
- c) Intraoperative photographs show the CerviFix® before and after apposition of cancellous bone. There is sufficient space anterior and medial to the implant for bone grafts.
- d) This postoperative MRI shows well the decompression of the spinal cord. In spite of the implants' presence, the quality of imaging is good.



**Abbildungen 23a und 23b**

a) 58-jähriger Patient mit bekanntem Morbus Bechterew. Anlässlich eines Sturzes im Bad zog er sich eine einseitige Luxationsfraktur C4/5 links zu. Neurologisch wies er keine Ausfälle auf.  
b) Von einem dorsalen Zugang her wurden die Luxation reponiert und die sehr instabile Verletzung stabilisiert. Wegen der großen Hebelarme wurde eine lange Instrumentation mit je zwei Schrauben kranial und kaudal der Verletzung gewählt. Postoperativ wurde der Nacken für 3 Monate in einem Philadelphia-Kragen immobilisiert. Bei der letzten Kontrolle 36 Monate postoperativ war der Patient hinsichtlich seiner Verletzung beschwerdefrei, die Implantate waren stabil.

**Figures 23a and 23b**

a) 58-year-old man suffering from ankylosing spondylitis. Unilateral fracture-dislocation C4/5, left side, following fall in the bathroom. No neurologic deficit.  
b) Reduction of dislocation through a posterior approach and stabilization of the unstable injury. Given the long lever arms acting on the site of injury, an extended instrumentation with two screws each cranially and caudally was chosen. Postoperative immobilization in a Philadelphia collar for 3 months. At the last follow-up 36 months postoperatively, the patient was free of symptoms at the site of injury, no loosening or displacement of implants.

### Operationsprinzip im oberen BWS-Bereich

Die operative Technik ist bis auf die Anwendung von Pedikelschrauben anstelle von Schrauben in den Gelenkmassiven mit derjenigen im unteren HWS-Bereich identisch. Im Übrigen können auch Laminahaken in der BWS benutzt werden. Letztere lassen sich sowohl von kranial als auch von kaudal her um die Lamina legen.



**Abbildungen 24a und 24b**

a) 67-jähriger Mann mit akuter Parese C7 und C8 links bei akuter Spondylodiszitis C7/T1 mit *Escherichia coli*. Die MRT zeigt einen massiven epiduralen Abszess.  
b) Notfallmäßig wurde ein ventrales Débridement vorgenommen. Bei der Operation floss Eiter aus dem Intervertebralraum, weshalb auf eine gleichzeitige ventrale Spondylose verzichtet wurde. 1 Woche später wurden eine ventrale Spondylose C6/T1 und eine dorsale Stabilisation C6/T1 mit dem CerviFix® vorgenommen. Die Schrauben in C6 wurden in die Massa lateralis eingesetzt, diejenigen in T1 transpedikulär. Bei der Nachkontrolle 1 Jahr postoperativ waren der Infekt und die Spondylose geheilt.

### Surgical Procedure at the Upper T-Spine

The surgical technique is identical to that at the lower C-spine with the exception of the use of pedicle screws instead of screws inserted into masses of the articular processes. The use of lamina hooks is also possible at the T-spine. They can be placed around the lamina either from cranial or caudal.



**Figures 24a and 24b**

a) 67-year-old man with a left-sided paresis C7 and C8 of sudden onset due to an acute *Escherichia coli* spondylodiscitis C7/T1. The MRI shows a huge epidural abscess.  
b) An anterior debridement was done on an urgent basis. During surgery, pus ran out from the intervertebral space precluding an anterior spondylosis. 1 week later, an anterior spondylosis C6/T1 and a posterior stabilization C6/T1 using the CerviFix® were done. The screws in C6 were inserted into masses of the articular processes and pedicle screws were used at T1. 1 year postoperatively, radiographs did not show any evidence of persisting infection, the fusion was solid.

### **Postoperative Behandlung**

#### **Postoperative Behandlung bei Fusionen im HWS-Bereich**

- Über den Wundverband wird ein weicher Schaumstoffkragen angelegt.
- Mobilisation des Patienten am 1. postoperativen Tag mit einem halbharten Plastazote-Kragen (z.B. Philadelphia-Kragen).
- Erster Verbandswechsel am 2. postoperativen Tag. Blutgetränkte Verbände werden jedoch sofort gewechselt.
- Entfernung der Fäden am 12. postoperativen Tag.
- Nach Entfernung der Fäden darf der Patient den Kragen beim Essen und bei der Körperpflege ablegen. In der Nacht trägt er einen weichen Kragen.
- Isometrisches Hals- und Nackenmuskeltraining sowie Haltungs- und Atemübungen, sobald es die Beschwerden erlauben. Es ist darauf zu achten, dass die HWS immer aktiv aufgerichtet wird. Ständiges Abstützen des Kinns am Kragen ist zu vermeiden.
- Die Patienten können den Kragen nach 10 Wochen allmählich weglassen.
- Erste reguläre Röntgenkontrolle nach 3 Monaten. Zu dieser Zeit sollte die Spondylodese weitgehend durchbaut sein. Die physische Aktivität kann anschließend in Abhängigkeit von den Beschwerden langsam gesteigert werden.
- Physische Normalaktivität nach Ablauf von 4 Monaten.
- Falls keine Spongiosa, sondern Knochenzement angelagert wurde (nur bei Metastasen zulässig!), wird eine Orthese auf Lebenszeit empfohlen.

#### **Postoperative Behandlung bei okzipitozervikaler Fusion**

- Die Nachbehandlung entspricht im Prinzip der oben beschriebenen. Die Ruhigstellung muss aber besser sein. Wir benutzen deshalb eine im Brustbereich abstützende Orthese, wie z.B. ein Repona-Gestell. Diese Orthese sollte 3 Monate lang getragen werden. In der Nacht sollten diese Patienten einen Philadelphia-Kragen tragen. Bei sehr schlechter Knochenqualität und deshalb fraglicher Stabilität der Montage sowie bei sehr langer Stabilisationsstrecke (z.B. okzipitothorakale Fusion) kann eine Ruhigstellung in einem Minerva-Gipsverband ratsam sein.

#### **Fehler, Gefahren, Komplikationen**

- Arterielle Blutung aus dem Bohrkanaal: Wenn der Schraubenkanal in C2 unsachgemäß gebohrt wird,

### **Postoperative Management**

#### **Postoperative Care after Fusion of the C-Spine**

- A soft foam collar is worn over the dressing.
- Mobilization of patient on day 1 with a semirigid collar such as a Philadelphia collar.
- First dressing change on day 2. Immediate dressing change, if dressing is blood-soaked.
- Removal of stitches on day 12.
- Subsequent to the removal of stitches, the patient is allowed to remove the collar during the meals and for personal hygiene. Soft collar during nighttime.
- Isometric exercises of cervical and neck muscles as well as posture and respiratory exercises as soon as tolerated. The C-spine should always be actively extended, continued resting of the chin on the collar must be avoided.
- Progressive weaning off from collar after 10 weeks.
- First radiologic control after 3 months. At this time, the spondylodesis should have almost consolidated. Thereafter, physical activities can be increased depending on symptoms.
- Normal physical activities after 4 months.
- In instances where bone cement was used instead of cancellous bone (only in the presence of metastases permissible!), the collar is worn for the remaining part of the life.

#### **Postoperative Care after Occipitocervical Fusion**

- In principle, the care is identical to that outlined above. The immobilization must, however, be more rigid. Therefore, we use a four-post orthosis that rests on the chest such as the Repona frame. This orthosis must be worn for 3 months. During the night, however, it can be exchanged for a Philadelphia collar. If the bone quality is rather poor putting the stability of fixation at risk, or if an extended fusion such as an occipitothoracic fusion has been done, an immobilization in a Minerva cast may be advisable.

#### **Errors, Hazards, Complications**

- Arterial bleeding from a drill hole: if the screw hole into C2 is drilled improperly, injury of the vertebral artery may occur. Such a bleeding may be lethal. If the bleeding is profuse, the artery must be exposed immediately from posterior (this necessitates resection of the articular processes). The artery is either ligated or sutured using microsurgical technique. If this is not possible at the level of C2, the bleeding may be stopped by the insertion of the screw.



kann die Arteria vertebralis verletzt werden. Eine Blutung aus der Arterie kann u.U. tödlich sein. Bei profuser Blutung aus einem Schraubenkanal muss die Arterie sofort von dorsal freigelegt (Resektion der Gelenkfortsätze) und ligiert oder nach Möglichkeit mikrochirurgisch genäht werden. In C2 kann, falls anders nicht machbar, die Blutung evtl. durch Einführen der Schraube gestillt werden.

- Starke venöse Blutung aus einem Bohrkana: In diesem Fall genügt die Abdichtung des Schraubenkanals mit Knochenwachs oder einer Schraube.
- Liquorfluss aus einem Bohrkana: Abdichten des Bohrkana mit Hilfe der Schraube.
- Spinalnervenläsion durch eine ventral aus dem Gelenkfortsatz herausragende, zu lange Schraube: Auswechseln der Schraube.
- Spinalnervenläsion durch den Bohrer oder ein anderes Instrument: Keine Therapie möglich.
- Schraubenausriss: Das Anziehen der Schrauben muss, besonders im Gelenkfortsatzbereich, gefühlvoll erfolgen. Sind die Backen bereits solide auf dem Stab fixiert, können beim Anziehen der Schrauben starke dorsale Kompressions- bzw. Distraktionskräfte entstehen, je nachdem, ob die kranialste oder kaudalste Schraube angezogen wird. Wenn keine solchen Kräfte erwünscht sind, müssen die Backen beim Anziehen der Schrauben unbedingt auf dem Stab gleiten können.
- Bruch der Längsstäbe: Die Stäbe sind aus Titan gefertigt. Werden sie mehrmals hin- und hergebogen, können sie brechen.
- Postoperative Kyphose des kraniozervikalen Übergangs: Der Winkel zwischen Okziput und HWS beträgt normalerweise mindestens 90–100°. Bei einer okzipitozervikalen Fusion muss deshalb der Okzipitalstab am Übergang des Plattenendes zum Stab mindestens um diesen Winkel gebogen werden. Andernfalls kommt es zu einer kyphotischen Fehlstellung des Kopfes.

### Ergebnisse

Wir haben dieses Implantatsystem bis heute bei 54 Patienten verwendet (26 Frauen, 19 Männer). Das Alter der Patienten reichte von 5 bis 86 Jahren (Durchschnittsalter 59 Jahre). Nur einer der Patienten war jünger als 25.

Indikationen waren bei 14 Patienten schmerzhafte degenerative Veränderungen der HWS, bei 14 eine langstreckige spinale Stenose, die von dorsal durch Laminektomie dekomprimiert wurde (davon drei bei rheumatoider Arthritis), in fünf Fällen akute trauma-

- Massive venous bleeding from a drill hole: in this instance, packing of the hole with bone wax or a screw is sufficient.
- Cerebrospinal liquor flowing from the hole: sealing of the hole with the screw.
- Injury to a spinal nerve caused by a too long screw protruding anteriorly from the articular process: exchange of screw.
- Injury to a spinal nerve caused by the drill bit or any other instrument: no treatment possible.
- Screw avulsion: tightening of screws, particularly of those inserted into the articular processes must be done with great care. If the connectors are already tightly fixed on the rod, strong compression or distraction forces may be generated during tightening, depending on whether the most cranial or the most caudal screw is tightened. If such forces are undesirable, the connectors should be able to glide freely on the rod during screw tightening.
- Breakage of the rod: the rods are made of titanium. If they are repeatedly bent back and forth, they may break.
- Postoperative kyphosis at the craniocervical junction: the angle between occiput and C-spine normally amounts to at least 90–100°. Therefore, during an occipitocervical fusion the rod must be bent at the plate end by at least this amount. Otherwise, a kyphotic malposition of the head will result.

### Results

Until now, we have implanted this system in 54 patients (26 women, 19 men, age 5–86 years, average age 59 years). Only one patient was younger than 25 years.

Indications were painful degenerative changes of the C-spine in 14 patients; extensive spinal stenosis in 14, three of which were caused by rheumatoid arthritis, all decompressions were achieved from posterior using a laminectomy; acute traumatic instability in five; metastatic destruction causing an instability in seven; C1/C2 instability secondary to rheumatoid arthritis in three; and C4/C5 spondylolisthesis due to rheumatoid arthritis in one. The system was used four times for additional stabilization after anterior debridement and interbody spondylodesis, three times for additional stabilization in the presence of other pathologies (one each for kyphosis, fracture, and spinal stenosis). The CerviFix® was employed twice for painful instabilities secondary to malformations. Finally, in a 5-year-old child, we used the CerviFix® to stabilize unilaterally a congenital scoliosis of the C-spine after excision of a wedge vertebra.

tische Instabilitäten, siebenmal eine metastatische Destruktion mit Instabilität sowie dreimal eine Instabilität C1/2 bei rheumatoider Arthritis und einmal eine Spondylolisthesis C4/5 ebenfalls bei rheumatoider Arthritis. Bei vier Patienten wurde das System zur zusätzlichen Stabilisation nach ventralem Débridement und interkorporeller Spondylodese bei Spondylitis benutzt, in drei Fällen als zusätzliche Stabilisation bei anderen Pathologien (je eine Kyphose, Fraktur und Spinalstenose). Zweimal wurde der CerviFix® bei schmerzhafter Instabilität infolge Fehlbildung verwendet. Bei einem 5-jährigen Kind schließlich wurde eine kongenitale Skoliose durch Exzision eines Keilwirbels und einseitige dorsale Stabilisation behandelt.

Entsprechend der Lokalisation der Läsionen führten wir zwölf okzipitozervikale, 30 zervikale, zehn zervikothorakale und zwei hochthorakale Fusionen durch. Bei 18 Patienten nahmen wir gleichzeitig mit der Stabilisation eine Laminektomie über eine oder mehrere Etagen vor.

Außer bei den Patienten mit Metastasen lagerten wir bei allen Patienten autogenen Knochen aus dem hinteren Beckenkamm an. Bei den sieben Patienten mit metastatischen Destruktionen verwendeten wir Knochenzement.

Die Operationszeit betrug durchschnittlich 143 min (70–360 min), der durchschnittliche Blutverlust 610 ml (50–3 000 ml).

Intraoperative implantatbedingte Komplikationen wurden nicht beobachtet.

### Komplikationen

Wir beobachteten fünf allgemeine postoperative Komplikationen.

- Bei einer 52-jährigen Patientin trat nach ausgedehnter Laminektomie eine C5-Parese links auf, welche sich nur langsam innerhalb von 1 Jahr zurückbildete.
- Eine 74-jährige Patientin verstarb nach völlig blandem Verlauf akut am 8. postoperativen Tag. Die Autopsie zeigte als einzigen Befund eine Pneumonie.
- Ein 77-jähriger Patient mit einem metastasierenden Prostatakarzinom verstarb 2 Wochen postoperativ an akutem Nierenversagen.
- Bei einem 32-jährigen schizophrenen Patienten mit Morbus Bechterew trat eine Wundheilungsstörung auf, die sekundär heilte.
- Bei einem paraplegischen Patienten mit Berstungsfraktur C5, bei dem auswärts eine Korporektomie und bei uns eine dorsale Zusatzstabilisation C3–8 wegen weiterer dorsaler Verletzungen vorgenommen worden waren, trat postoperativ eine tiefe Un-

Depending on the localization of the lesion, we performed twelve occipitocervical, 30 cervical, ten cervicothoracic, and two upper thoracic fusions. In 18 patients, we added to the stabilization a laminectomy at one or more levels.

In all patients but those with metastatic lesions, we added autologous bone harvested from the iliac crest. In the seven patients with metastatic destructions, we used bone cement.

The average duration of surgery amounted to 143 min (70–360 min), the average blood loss measured 610 ml (50–3,000 ml)

Intraoperative implant-related complications were never observed.

### Complications

We observed five general postoperative complications.

- A left-sided C5 paresis was seen in a 52-year-old woman after an extensive laminectomy that regressed only slowly during 1 year.
- A 74-year-old woman died suddenly on day 8 after a normal postoperative course. The only finding at autopsy was a pneumonia.
- A 77-year-old man suffering from a metastasizing prostate carcinoma died 2 weeks postoperatively from a renal shutdown.
- A wound healing disturbance was seen in a 32-year-old schizophrenic patient with ankylosing spondylitis. It healed by secondary intention.
- A deep calf vein thrombophlebitis was observed in a paraplegic patient with a C5 burst fracture. Elsewhere, a corpectomy had been performed, and we added a posterior stabilization C3–8 on account of additional posterior injuries. The patient had been anticoagulated.

### Follow-Up

We were able to follow up 47 patients over 3–67 months (average 20 months). The duration of follow-up was > 24 months in 23 patients, between 12 and 24 months in 13, and < 12 months in eleven.

Seven patients had died before the moment of follow-up.

- A 77-year-old man with a metastasizing prostate carcinoma died 2 weeks postoperatively due to acute renal shutdown.
- A 74-year-old woman died suddenly on day 8. Her postoperative course had been uneventful.
- A 73-year-old woman died 2 months postoperatively from cardiac failure.

terschenkelthrombose auf, weshalb der Patient oral antikoaguliert werden musste.

### Nachkontrolle

Wir konnten 47 Patienten 3–67 Monate postoperativ nachuntersuchen (durchschnittliche Nachkontrollzeit: 20 Monate). Bei 23 Patienten betrug die Nachkontrollzeit > 24 Monate, bei 13 zwischen 12 und 24 Monaten und bei elf < 12 Monate.

Sieben Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachkontrolle verstorben.

- Ein 77-jähriger Patient mit einem metastasierenden Prostatakarzinom verstarb 2 Wochen postoperativ an akutem Nierenversagen.
- Eine 74-jährige Patientin verstarb nach völlig blandem Verlauf akut am 8. postoperativen Tag.
- Eine 73-jährige Patientin verstarb 2 Monate postoperativ an Herzversagen.
- Vier Patienten erlagen 2–7 Monate postoperativ ihrem bösartigen Grundleiden.

### Materialentfernungen

Bei drei Patienten wurde wegen Beschwerden das Material entfernt, zweimal nach 10 und einmal nach 24 Monaten. Bei allen war die Spondylodese geheilt.

Bei der radiologischen Nachkontrolle stellten wir einen Schraubenbruch sowie eine Lockerung einer Backe fest. Bei einem dieser Patienten war die ventrale Spondylodese durchbaut, bei dem anderen (rheumatoide Arthritis) war es ventral spontan zu einer knöchernen Überbrückung gekommen. Somit waren alle Spondylodesen radiologisch, soweit beurteilbar, fest.

Das beschriebene Implantatsystem [8] hat sich zur operativen Behandlung verschiedenster pathologischer Zustände bei 54 Patienten bewährt. Es ermöglicht eine völlig implantatunabhängige und somit der individuellen Anatomie angepasste Schraubenführung. Das System hat sowohl im Labor als auch klinisch gezeigt, dass es ausreichend stabil ist, um eine dorsale Fixation im HWS-Bereich zu erlauben. Wir haben bisher keine implantatbedingten Komplikationen gesehen, alle Fusionen heilten.

- Four patients succumbed to their malignancies between 2 and 7 months postoperatively.

### Implant Removal

Implant removal was performed three times on account of symptoms. It was done twice after 10 and once after 24 months. All the fusions had healed.

Follow-up radiographs revealed once a screw breakage and once a loosening of a connector. In one of these patients, the anterior spondylodesis was solid, and in the other suffering from rheumatoid arthritis, an anterior fusion had occurred spontaneously. Therefore, as far as we can determine, all spondylodeses showed a bony bridging.

The implant system [8] described here has proven to be of value in the treatment of various pathologies in 54 patients. It allows a screw insertion independent of the implant, and it can be adapted to the given anatomic situations. As shown during bench testing and clinical outcomes, the system is sufficiently stable for a posterior instrumentation at the C-spine. We never observed an implant-related complication; bony fusion could be seen in all patients.

### Literatur – References

1. Gebhard JS, Schimmer RC, Jeanneret B. Safety and accuracy of transarticular screw fixation C1-C2 using an aiming device. *Spine* 1998; 23:2185–9.
2. Grob D, Jeanneret B, Aebi M, et al. Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:972–6.
3. Heller JG, Shuster JK, Hutton WC. Pedicle and transverse process screws of the upper thoracic spine. *Spine* 1999;24:654–8.
4. Jeanneret B. Posterior fusion of the cervical spine. In: Grob D, ed. *Spine: state of the art reviews*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 1992.
5. Jeanneret B. Posterior transarticular screw fixation of C1-C2. *Tech Orthop* 1994;9:49–59.
6. Jeanneret B. Posterior rod system of the cervical spine. *Eur Spine J* 1996;5:350–6.
7. Jeanneret B. Der CerviFix. In: Tscherner H, Blauth M, Hrsg. *Unfallchirurgie – Wirbelsäule*. Berlin: Springer, 1997:232–4.
8. Jeanneret B. CerviFix: posterior rod system of the cervical spine. In: Aebi M, Thalgott JS, Webb JK, eds. *AO-ASIF principles in spine surgery*. Berlin: Springer, 1997.
9. Jeanneret B, Gebhard J, 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.
10. Jeanneret B, Magerl F. Primary posterior fusion C1/2 in odontoid fractures. Indications, technique and results of transarticular screw fixation. *J Spinal Disord* 1992;5:462–75.
11. Jeanneret B, Magerl F, Halter Ward E, et al. Posterior stabilization of the cervical spine with hook plates. *Spine* 1991;16:Suppl:56–63.
12. Morscher E, Sutter F, Jenny H, et al. Die vordere Verplattung der Halswirbelsäule mit dem Hohlschrauben-Plattensystem aus Titanium. *Chirurg* 1986;57:702–7.
13. Sasso R, Jeanneret B, Fischer K, et al. Occipitocervical fusion with posterior plate and screw instrumentation: a long term follow-up study. *Spine* 1994;19:2364–8.

### Korrespondenzanschrift – Address for Correspondence

Prof. Dr. Bernard Jeanneret  
Orthopädische Universitätsklinik  
Kantonsspital  
Spitalsstraße 21  
CH-4031 Basel  
Telefon (+41/61) 265-7810, Fax -7809  
E-Mail: bjeanneret@uhbs.ch