

Frakturen und Luxationen der oberen und mittleren Brustwirbelsäule (T1 bis T10) einschließlich des zervikothorakalen Übergangs

S. Katscher, C. Josten

14.1 Vorbemerkungen – 198

- 14.1.1 Einleitung – 198
- 14.1.2 Anatomische Vorbemerkungen – 199
- 14.1.3 Klassifikation – 199

14.2 Indikationen und therapeutische Maßnahmen – 200

- 14.2.1 Konservative Behandlung – 200
- 14.2.2 Operative Behandlung – 201

14.3 Operationstechniken – 204

- 14.3.1 Zervikothorakaler Übergang – 204
- 14.3.2 Dorsale Instrumentierung der Brustwirbelsäule – 204
- 14.3.3 Ventrale Instrumentierung der Brustwirbelsäule – 209

14.4 Komplikationen/Ergebnisse – 213

- 14.4.1 Zervikothorakaler Übergang – 213
- 14.4.2 Dorsale Instrumentierung der Brustwirbelsäule – 213
- 14.4.3 Ventrale Instrumentierung der Brustwirbelsäule – 214

14.5 Fallbeispiele – 216

- 14.5.1 Fallbeispiel 1 – 216
- 14.5.2 Fallbeispiel 2 – 218
- 14.5.3 Fallbeispiel 3 – 219
- 14.5.4 Fallbeispiel 4 – 220

14.6 Algorithmus – 221

Literatur – 222



Wenn die in den Thorax fest integrierte BWS verletzt wird, dann häufig durch hochenergetische Traumata mit resultierend höhergradigen Instabilitäten. Da die Verletzungen dorsal der Tragachse liegen, neigen sie, verursacht durch die physiologische Brustkyphose, zu weiterer Kyphosierung. Weder der knöcherne Brustkorb noch das »Luftkissen« der Lunge können diesen Spontanverlauf mit sekundärer lokaler Fehlstellung insbesondere bei instabilen Frakturen verhindern.

14.1 Vorbemerkungen

14.1.1 Einleitung

Die obere und mittlere BWS ist von Verletzungen seltener betroffen als der zervikothorakale oder der thorakolumbale Übergang. Dies begründet sich durch das vergleichsweise stabile Gesamtkonstrukt des knöchernen Thorax. Bei intakten Verhältnissen erhöht die horizontale Ringstruktur der segmentalen Wirbel-Rippen-Sternum-Verbindung, welche in ihrer Komplexität in kraniokaudaler Richtung als Kegel- bzw. Zylinderstruktur interpretiert werden kann, die Stabilität der Wirbelsäule in allen Bewegungsrichtungen (Andriacchi et al. 1974, Feiertag et al. 1995, Panjabi et al. 1981, Takeuchi et al. 1999).

Verletzungen resultieren daher überwiegend aus höherenergetischen Unfallmechanismen, wie Verkehrs- oder Sportunfällen sowie Stürzen aus großer Höhe (Gonschorek u. Bühnen 2005, Heyde et al. 2005, Josten et al. 2005, Katscher et al. 2003, Knop et al. 1999, Reinhold et al. 2009).

Besonders schwerwiegende, instabile Verletzungen sind in einer nicht unerheblichen Zahl mit thorakalen Begleitverletzungen im Sinne von **komplexen Thoraxtraumata** vergesellschaftet.

Im Gegensatz zum älteren Menschen zeigen sich Thoraxtraumata bei jüngeren Verletzten nicht immer mit Rippenfrakturen. Der elastische knöcherne Thorax gibt die einwirkende Kraft dabei unmittelbar an das Lungenparenchym weiter, wo es neben kontusionellen Einblutungen zu Einrissen mit Ausbildung von mehr oder weniger ausgeprägten Pneumo- und/oder Hämatothoraces kommen kann.

! Cave!

Junge Patienten kompensieren pulmonale Läsionen initial oft relativ gut, sodass die peripher gemessene Sauerstoffsättigung durchaus noch 95–98% betragen kann. Derartige Werte dürfen nicht über das eigentliche Verletzungsausmaß hinwegtäuschen.

Außerdem kann bei instabilem Thorax, insbesondere bei der Kombination von Brustwirbel-, Rippen- und Sternumfraktur, eine traumatische Aortendissektion vorliegen, welche ausgeschlossen oder notfallmäßig behandelt werden sollte.

Basis jeder **Diagnostik** ist die Unfallanamnese über den Verletzten selbst und den Notarzt oder Rettungsassistenten, um eine Vorstellung über die absorbierte Kraft zu erhalten. Hierzu zählt bei Verkehrsunfällen die Information über den Zustand

des Kfz-Wracks und Verletzungsschwere von ggf. weiteren Verletzten.

Die **klinische Untersuchung** sollte am entkleideten Patienten stattfinden. Da die Patienten meistens liegend die Notaufnahme/Rettungsstelle erreichen, sind sie vorsichtig auszuziehen. Unter Umständen muss die Kleidung zerschnitten werden. Falls der Rettungsdienst den Patienten nicht mit strahlendurchlässigem »Spineboard« transportiert hat, kann die wiederholt auftretende Frage, ob eine Vakuummatratze vor der Diagnostik entfernt werden darf, unserer Auffassung nach mit »Ja« beantwortet werden. Das setzt allerdings voraus, dass:

- in der aufnehmenden Klinik jegliche Wirbelsäulenverletzung und evtl. weitere Verletzung versorgt werden können,
- ein schonendes beidseitiges axiales Anheben des Verletzten mit je 2–3 Personen zum Entfernen der Matratze erfolgt.

Ebenfalls mit 2–3 Personen kann der Patient axial um ca. 30° gedreht werden, um lokale Prellmarken, Hämatome oder druckschmerzhafte, divergierende sowie aus der Reihe abweichende Dornfortsätze zu erfassen. Da aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Spinalkanalweite und Rückenmarkquerschnitt im thorakalen Abschnitt der Wirbelsäule bei instabilen Verletzungen überdurchschnittlich häufig neurologische Defizite auftreten, sind die exakte Erhebung und **Dokumentation des neurologischen Status** obligat.

Die **bildgebende Diagnostik** beinhaltet bei nicht polytraumatisierten Patienten Röntgen der BWS in 2 Ebenen. Im durch Schulterüberlagerung seitlich schlecht beurteilbaren zervikothorakalen Übergang bringt die Schwimmer- oder Fechteraufnahme oft nur begrenzten zusätzlichen Informationsgewinn, sodass bei entsprechender klinischer Symptomatik ein CT zu fordern ist. Auch bei röntgenologisch sicher nachgewiesener Fraktur ist ein CT der verletzten Region zur exakten Klassifizierung der Läsion notwendig. Bei allen Patienten mit BWS-Verletzung ist ein Thoraxröntgen und eine Ultraschalluntersuchung des Abdomens zum Ausschluss relevanter Begleitverletzungen zu empfehlen (Josten u. Katscher 2003).

Polytraumatisierte Patienten sollten notfallmäßig einer CT-Polytrauma-Spiraluntersuchung mit Kontrastmittel und Rekonstruktion der Wirbelsäule zugeführt werden, um o.g. Begleitverletzungen zu diagnostizieren. Bei Verdacht auf Herzkontusionen ist die Enzymdiagnostik (Troponin I) und transthorakale Ultraschalluntersuchung, bei pathologischen Befunden anschließend ggf. eine transösophageale Herzultraschalluntersuchung zu veranlassen.

! Cave!

Bei Frakturen der BWS ist immer subtil nach Begleitverletzungen des Thorax zu fahnden.

Instabile Verletzungen der oberen und mittleren BWS sind in 30–40% der Fälle und somit deutlich häufiger mit Polytraumata (Polytrauma, Kap. 22) kombiniert als Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs oder der LWS (Heyde et al. 2005, Reinhold et al. 2009).

14.1.2 Anatomische Vorbemerkungen

Die Brustwirbel und die thorakalen Bandscheiben sind beim Erwachsenen ventral jeweils etwas flacher als dorsal. Daraus ergibt sich die kyphotische Ausrichtung der BWS. Die oberen und unteren Brustwirbel besitzen einen größeren queren Durchmesser. Die mittleren Brustwirbel weisen häufig eine kartenherzförmige Konfiguration auf.

Die Gelenkflächen der Facettengelenke sind in der Frontalebene ausgerichtet. Durch die sich zusätzlich dachziegelartig meist um mehr als Wirbelkörperhöhe überlappenden Dornfortsätze und die Rippen-Sternum-Verbindung ist das Bewegungsausmaß der einzelnen Bewegungssegmente in der BWS geringer als in jedem anderen Abschnitt der Wirbelsäule. Die Rippen artikulieren in zwei bandverstärkten Gelenken mit den Wirbeln. In der *Articulatio capitis costae* ist der Rippenkopf mit dem dorso-lateralen Anteil der beiden benachbarten Wirbelkörper und der zwischengelagerten Bandscheibe verbunden. Die *Articulatio costotransversaria* verbindet die Rippe mit dem Querfortsatz des jeweiligen Wirbels. Zwischen beiden Gelenken ist der Rippenhals über das *Ligamentum costotransversarium superius* am nächsthöheren Querfortsatz aufgehängt (Abb. 14.1).

Dorsal sind die Wirbel muskulär über das transversospinale System (*Mm. rotatores*, *M. semispinalis*, *M. multifidus*) und das longitudinale System (*M. spinalis*, *M. longissimus*, *M. iliocostalis*) miteinander verbunden.

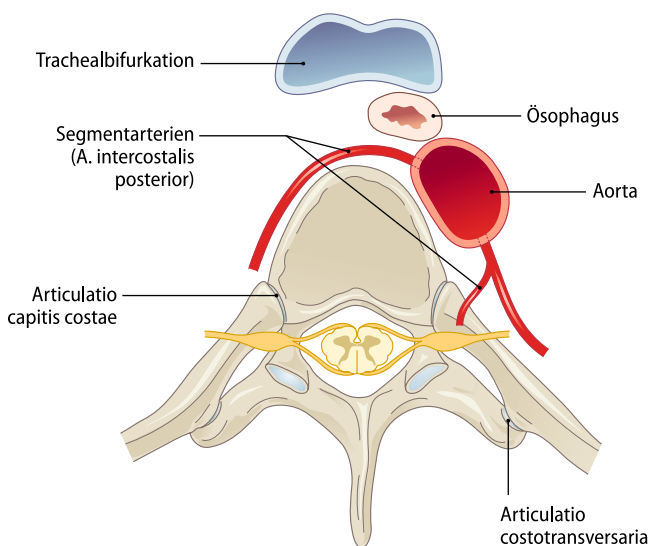
➤ **Der Pedikelquerschnitt ist individuell sehr verschieden, jedoch überwiegend längsoval und häufig am geringsten zwischen dem 4.–8. Brustwirbel, was für die Verankerung von Pedikelschrauben bedeutsam ist. Auch die Pedikelachsen variieren individuell und auch im kraniokaudalen Verlauf der BWS. Meist zeigen sie im oberen Bereich eine Konvergenz nach ventral (25–30° bei T1, 15–25° bei T2, 10–15° bei T3), wohingegen sie im unteren Bereich annähernd parallel verlaufen.**

Im Gegensatz zur LWS münden die Pedikel weit kranial in den Wirbelkörper. Der Spinalkanal weist anders als in HWS und LWS eine nahezu runde Geometrie auf und ist in Relation zum Rückenmark sehr eng, was bereits bei Einengungen von weniger als 20% zu Querschnittslähmungen führen kann (Gonschorek u. Bühren 2006, Reinhold et al. 2009).

Besondere Bedeutung für die operative Versorgung von Brustwirbelfrakturen besitzt die Aorta mit enger Lagebeziehung zur Wirbelsäule. Die Aorta descendens liegt den Wirbeln ab ca. T4 eng auf der linken Seite an. Erst in der unteren BWS verlagert sie sich allmählich zum ventrolateralen Bereich der Wirbelkörper.

14.1.3 Klassifikation

Die Klassifikation von Verletzungen der gesamten Rumpfwirbelsäule orientiert sich im europäischen Raum an der Einteilung von Magerl, Harms, Gertzbein, Aebi und Nazarian, welche aus dem Jahr 1994 stammt und auf eine Analyse von mehr als



■ **Abb. 14.1** Anatomischer Querschnitt in Höhe der Trachealbifurkation (T5/6)

1400 Fällen zurückzuführen ist (Magerl et al. 1994). Es wird – mit jeweils steigendem Instabilitätsgrad – unterschieden zwischen:

- Kompressionsverletzungen (Typ A)
- Flexions-/Distraktionsverletzungen (Typ B)
- Rotationsverletzungen (Typ C)

Die detaillierte Unterteilung der einzelnen Verletzungen ist in ► Kap. 3 beschrieben und erfolgt anhand radiologischer Kriterien (Tscherne u. Blauth 1998, Josten u. Katscher 2003, Vaccaro et al. 2006, Schnake et al. 2008).

B- und C-Verletzungen der Wirbelsäule

Hinweiszeichen für eine B-Verletzung sind:

- Divergenz der Dornfortsätze im Vergleich zu den Nachbarsegmenten
- Frakturen der Wirbelbögen oder Facettengelenke
- Beidseits verhakte Facettengelenke (v.a. im zervikothorakalen Übergang)
- Diastase der Facettengelenke
- Reduktion der vorderen Wirbelkörperhöhe >50%
- Segmentwinkel >15°

Hinweiszeichen für eine C-Verletzung sind:

- Versatz der Dornfortsatzreihe
- Einseitige Gelenkluxation
- Asymmetrie der Pedikel
- Rippenhals- oder Querfortsatzfrakturen

Dennoch sind insbesondere ligamentäre B-Verletzungen (Typ B1) mit Läsionen des posterioren Ligamentkomplexes (PLC = Ligamentum supraspinosum, Ligamentum interspinosum, Ligamentum flavum, Facettengelenkscapseln) durch einfache Röntgen- und CT-Diagnostik in bis zu 30% der Fälle trotz exakter Bildbetrachtung nicht von A-Frakturen zu unterscheiden (Schnake et al. 2008, Vaccaro 2006, Vordemvenne et al. 2009). Eine erhöhte



■ **Abb. 14.2a–e** Traumatischer Bandscheibenschaden bei mehrfragmentärer Deckplattenzerstörung (T10) (a–c). Bei weitgehend intakter Deckplatte ist ein Bandscheibenschaden weniger wahrscheinlich (d T5-Fraktur, e Serienfraktur T5–8)

diagnostische Genauigkeit bietet zusätzliche Sonografie und v.a. die MRT-Diagnostik.

Die von der AG Wirbelsäule der DGU initiierte Multicenterstudie II (MCS II) zu thorakolumbalen Wirbelfrakturen zeigte, dass mit 18,3% (145/733) weniger als ein Fünftel aller instabilen operativ, nicht durch Kyphoplastie behandelten Wirbelfrakturen auf die obere und mittlere BWS (T1–10) entfielen. Im Vergleich zum mit 68,8% am häufigsten betroffenen thorakolumbalen Übergang (T11–L2) lag der Anteil der höhergradig instabilen B- und C-Verletzungen dagegen deutlich höher (Typ A: 28,5%, Typ B: 36,7%, Typ C: 34,8%) (Reinhold et al. 2009).

Im **Hinblick auf die einzuleitende Therapie** ist eine weitere Unterteilung bezüglich der Frakturmorphologie v.a. bei den inkompletten Berstungsbrüchen vom Typ A3.1 bzw. deren Äquivalent im Rahmen einer ligamentären B-Verletzung sinnvoll. Hier bietet sich die »Load sharing classification« nach McCormack et al. ebenfalls aus dem Jahr 1994 an (McCormack 1994).

Ein weiterer Aspekt für die Therapieentscheidung ist die **Morphologie der zerstörten Deckplatte**. Sie hat wesentlichen Einfluss auf den zu erwartenden traumatischen Bandscheibenschaden und somit auf das Heilungspotenzial des betroffenen Bewegungssegments, insbesondere in der mittleren und unteren BWS. Bei mehrfach frakturierter Deckplatte mit dislozierten Fragmenten wird mit höherer Wahrscheinlichkeit eine Verletzung der Bandscheibe eintreten, wohingegen bei nahezu intakt eingesunkener Deckplatte die Bandscheibe intakt bleiben kann (■ Abb. 14.2).

Neurologische Ausfälle können praktikabel und gut nach dem Frankel-Score klassifiziert werden (Frankel 1969). Diese Einteilung wurde 1992 von der American Spinal Injury Association (ASIA) in Zusammenarbeit mit der International Society of Paraplegia (IMSOP) hinsichtlich der Kraftgrade der Kennmuskeln sowie der sensiblen Qualitäten in den Dermatomen verfeinert und findet ebenso im Rahmen standardisierter Protokolle Anwendung.

Frankel-Score

- **A:** Komplette Querschnittlähmung. Keine sensible und motorische Funktion unterhalb der Läsion erhalten.
- **B:** Inkomplette Querschnittlähmung. Sensible, aber keine motorische Funktion unterhalb der Läsion erhalten.
- **C:** Inkomplette Querschnittlähmung. Motorische Funktion unterhalb der Läsion erhalten, jedoch überwiegend Kraftgrad ≤ 3 .
- **D:** Inkomplette Querschnittlähmung. Motorische Funktion unterhalb der Läsion erhalten, überwiegend ≥ 3 .
- **E:** Regelrechte sensible und motorische Funktion.

Neurologische Ausfälle ohne bildmorphologisches Korrelat (Röntgen, CT, MRT) werden als SCIWORA (»spinal cord injury without radiological abnormalities«) bezeichnet und konservativ behandelt.

14.2 Indikationen und therapeutische Maßnahmen

Es existieren zahlreiche Publikationen inklusive Multicenterstudien zu Klassifikationen und Therapie thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. Dennoch gibt es bislang weltweit keine klare Evidenz für Entscheidungen dazu, welche Verletzung auf welche Art behandelt werden sollte. Das Therapiespektrum reicht von konservativer Behandlung bis hin zu kombinierter operativer Versorgung mit dorsalem Fixateur interne, ventralem Wirbelkörpersatz durch expandierbaren Cage und zusätzlicher ventraler winkelstabiler Instrumentierung.

Wir möchten das in unseren Kliniken derzeit praktizierte Therapieregime vorstellen, was aus den eigenen klinischen Ergebnissen, dem Studium der Literatur und zusätzlichen Erfahrungsberichten von Kollegen der AG Wirbelsäule der DGU abgeleitet wurde (Verheyden et al. 2011).

14.2.1 Konservative Behandlung

Aus den oben beschriebenen Klassifikationen können die **Stabilität** einer Verletzung und konsekutiv die Therapiewahl abgeleitet werden. Die Stabilitätskriterien nach White und Panjabi, modifiziert nach Blauth sind bereits beschrieben. Deren heute übliche Interpretation mündet in überwiegend konservativ-

funktioneller Therapie bei stabilen Impressions-, Keil- und Spaltfrakturen vom Typ A1 und A2 (Reinhold 2003).

Ausnahmen stellen A1.2-Frakturen mit initialer Kyphose von $>15^\circ$ im Vergleich zu den Nachbarsegmenten sowie stark sinterungsgefährdete osteoporotische A1.3-Frakturen (Kap. 25) und die aufgrund von Bandscheibeninterposition zu Pseudarthrosen neigenden Kneifzangenbrüche vom Typ A2.3 dar. Des Weiteren kann auch bei inkompletten Berstungsbrüchen vom Typ A3.1 mit traumatischer Kyphose $<15^\circ$ mit weitgehender Integrität der Deckplatte und lediglich in die Wirbelkörperhinterkante reichender Fissur eine konservativ-funktionelle Therapie in Erwägung gezogen werden.

Die zwei klassischen konservativen Therapieformen der 30er Jahre des vergangenen Jahrhunderts nach Böhler (Reposition im Durchhang, Retention im Gipsmieder für 3–6 Monate je nach Frakturform und Lokalisation, Rehabilitation) und Magnus (nach initialer 3- bis 6-wöchiger Bettruhe über Seitlage, Bauchlage und Vierfüßlerstand schrittweise Mobilisation), wurden stets kontrovers diskutiert (Böhler 1938, Magnus 1934).

➤ **Aufgrund vergleichbarer Resultate der beiden klassischen Verfahren wie auch der frühfunktionellen Therapie bei stabilen Frakturen wird heute die frühfunktionelle Behandlung stabiler Frakturen favorisiert.**

Bei der **frühfunktionellen Behandlung** werden die Patienten ab dem 1. Tag nach dem Unfall unter Analgetikagabe und physiotherapeutischer Anleitung mobilisiert. Wichtig ist das Erlernen verschiedener Bewegungsabläufe unter Vermeidung von kyphotischer Haltung (Aufsetzen aus dem Liegen, Schnürsenkel binden etc.) sowie aufrechtes »rückengerechtes« Sitzen unter dem Oberbegriff »Rückenschule«. Zudem wird eine gleichmäßige Kräftigung der Rücken- und Bauchmuskulatur im Bereich des zervikothorakalen Übergangs der Nacken- und ventralen Halsmuskulatur und auch der Schultergürtelmuskulatur angestrebt.

Begleitend erfolgen regelmäßige Röntgenkontrollen im Stehen nach 3–5 Tagen, dann nach 2 und 4 Wochen sowie nach 3, 6 und 12 Monaten. Bei weiterer, unerwartet starker Sinterung ($>5^\circ$ nach 2 Wochen bzw. $>10\text{--}15^\circ$ nach 4 Wochen) sollte eine nochmalige CT- und ggf. MRT-Diagnostik erfolgen, um durch Re-Evaluation der Verletzung eine übersehene B-Verletzung auszuschließen oder nachzuweisen. In Abhängigkeit von diesen Befunden und den Beschwerden des Patienten kann eine sekundäre Korrekturoperation indiziert sein.

Während bei stabilen Frakturen von C7 im zervikothorakalen Übergang die Verwendung einer ausreichend hohen anatomischen Zervikalstütze mit elastisch-stabilem Kern schmerzlindernd und lordosierend wirken kann, ist der Einsatz von teuren Rumpfmiedern und Stützkorsetts mit »Mahnwirkung« bzw. »Erinnerungsfunktion« prinzipiell diskussionswürdig. Im Bereich der oberen und mittleren BWS sollte aus unserer Sicht darauf verzichtet werden, da eine effektiv-stabilisierende Wirkung auf die Wirbelsäule hier nicht zu erwarten ist.

14.2.2 Operative Behandlung

Instabile Verletzungen bergen die Gefahr einer neurologischen Verschlechterung oder relevanten Kyphosierung und erfordern eine operative Behandlung. Es handelt sich dabei um:

- Kneifzangenfrakturen Typ A2.3
- Berstungsfrakturen Typ A3.1–A3.3
 - Ausnahme: bei $<15^\circ$ kyphosierten A3.1-Frakturen, bei denen lediglich eine Fissur der Hinterkante ohne disloziertes Hinterkantenfragment vorliegt, kann nach Ausschluss einer ligamentären B-Verletzung oder relevanten Bandscheibenschädigung durch MRT eine frühfunktionelle Behandlung erwogen werden.
- Alle Verletzungen vom Typ B
- Alle Verletzungen vom Typ C

Operationszeitpunkt

Der Anteil neurologischer Ausfälle bei Verletzungen der mittleren und oberen BWS (T1–10) ist im Vergleich zu weiter kaudal gelegenen Regionen der thorakolumbalen Wirbelsäule fast doppelt so hoch und betraf z.B. in der MCS II 37% aller Patienten mit Spinalkanaleinengung in dieser Region. Auch komplette Querschnittslähmungen jedoch zeigten teilweise partielle Verbesserungen (Reinhold et al. 2009).

! Cave!

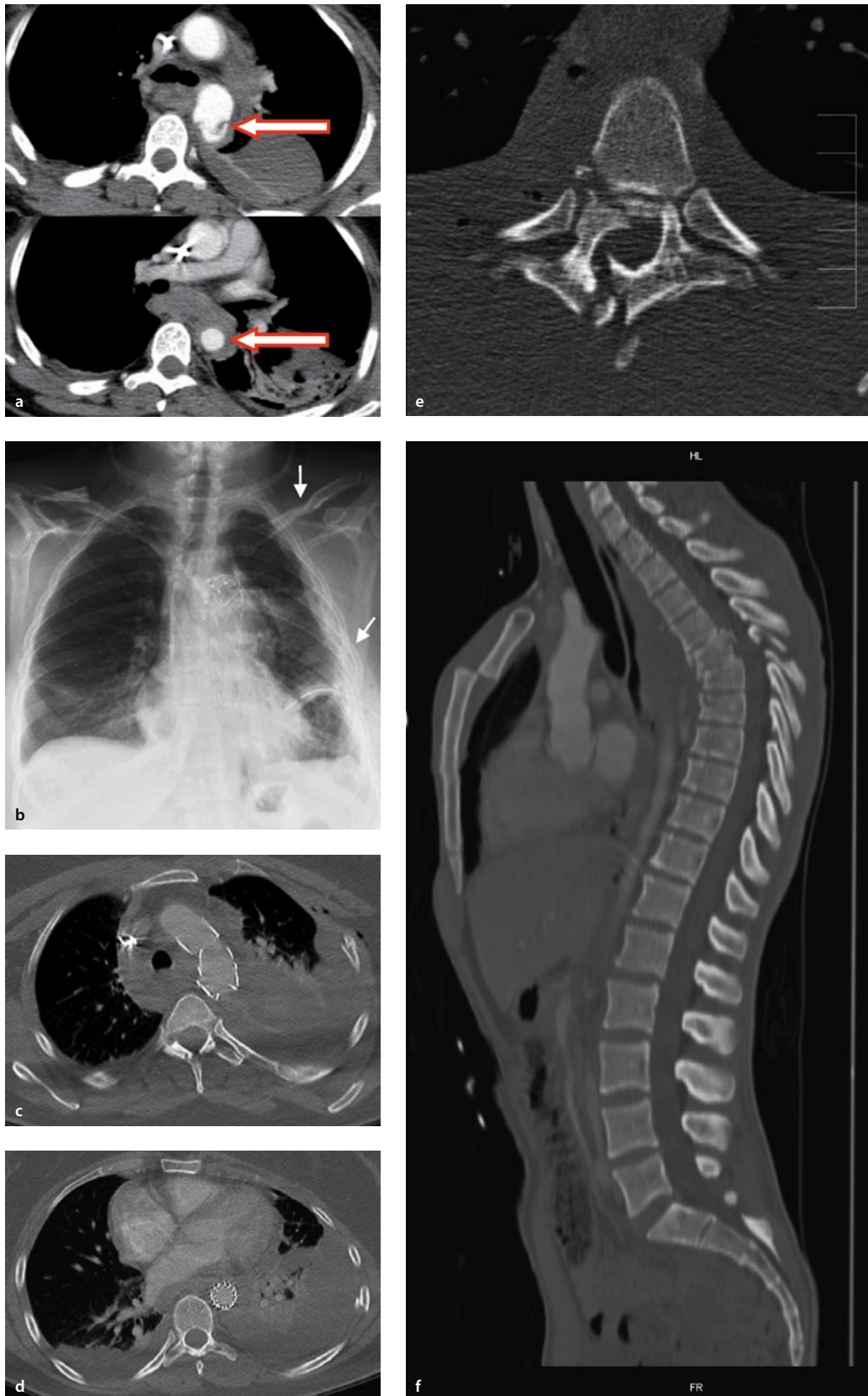
Brustwirbelfrakturen mit begleitenden neurologischen Ausfällen erfordern eine notfallmäßige Reposition und Dekompression von dorsal, wodurch rasche Entlastung des Rückenmarks erreicht und das Sekundärtrauma minimiert werden kann.

Ansonsten ist eine dringliche Versorgung von dorsal mittels Fixateur interne möglichst am Unfalltag anzustreben, denn je frischer eine Verletzung ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, eine erfolgreiche Reposition durch Lagerung und dorsale Instrumentierung zu erzielen.

Eine additive ventrale Versorgung erfolgt, wenn erforderlich, im Bereich der oberen und mittleren BWS überwiegend zweizeitig nach 4–10 Tagen.

Auch bei polytraumatisierten Patienten empfiehlt sich eine dringliche Versorgung, um die Intensivtherapie und die erforderlichen Lagerungswechsel zu erleichtern (Heyde 2005). Der bestmögliche Operationszeitpunkt muss jedoch individuell in enger Kooperation mit dem Intensivtherapeuten und ggf. in die Behandlung eingebundenen weiteren Fachdisziplinen (Neurochirurgie, Viszeralchirurgie, Angiologie/Gefäßchirurgie) abgestimmt werden.

Limitierend für eine operative Reposition und Stabilisierung in der »Initialphase« oder »vulnerablen Phase« (2.–4. Tag) sind v.a. begleitende intrakranielle Verletzungen und schwere Thoraxtraumata (AIS 4–5), welche auch nach Drainage von Hämato-pneumothoraces funktionell ein akutes Lungenversagen mit einem Horowitz-Quotienten ($\text{paO}_2/\text{FiO}_2 < 300$) aufweisen. Bei vorliegender traumatischer Aortendissektion besitzt diese im Verhältnis zur Wirbelsäulenverletzung absolute Behandlungspriorität. In den meisten Fällen kann nach interventionsradiologischer Platzierung eines entsprechenden Stents die Stabili-



■ **Abb. 14.3** 40-Jähriger nach Verkehrsunfall polytraumatisierter Patient mit schwerem Thoraxtrauma: Klavikulafraktur links, Rippenserienfraktur 5–9 links, Luxation zwischen Manubrium und Corpus sterni sowie instabiler B-Verletzung von T5/6. Priorität in der Versorgung besitzt die Aorta, welche mittels Stent versorgt werden konnte

sierung der Wirbelsäule vorgenommen werden. Nur selten sind operativ-rekonstruktive Maßnahmen an der Aorta notwendig (■ Abb. 14.3).

Operative Strategie

Der **zervikothorakale Übergang (C7/T1)** nimmt eine Sonderstellung ein. Hier liegen entsprechend der Verletzungen im Bereich der subaxialen HWS (► Kap. 13) vergleichsweise häufiger (Sub-) Luxationsverletzungen vor. Diese Region wird in den meisten Fällen von ventral über den klassischen Zugang zur HWS gut bis T1 (gelegentlich T2) erreicht und instabile Verletzungen können so gut nach Bandscheibenausräumung reponiert und in Form einer ventralen Spondylodese mit Plattenosteosynthese stabilisiert werden (Bühren 2002, Katscher u. Verheyden 2003, Reinhold 2006) (■ Abb. 14.4).

Nur selten sind bei ausgedehnten Läsionen der hinteren knöchernen und ligamentären Strukturen zusätzliche dorsale Maßnahmen erforderlich (Fallbeispiel 1).

Instabile Frakturen der oberen und mittleren BWS sind Ausdruck hoher Gewalteinwirkung und wie erwähnt insbesondere bei polytraumatisierten Patienten mit pulmonalen Begleitverletzungen und auch Frakturen der Rippen oder des Sternums kombiniert, was dann mit einer erheblichen Instabilität des knöchernen Thorax vergesellschaftet ist. Der Anteil von instabilen Flexions-Distraktionsverletzungen (Typ B) wie auch von Rotationsfrakturen (Typ C) ist deutlich größer als im thorakolumbalen Übergangsbereich (Reinhold 2009). Da die dorsale Zuggurtung dadurch zerstört ist, besitzen die dorsalen Verfahren vorrangige Bedeutung, welche auch zur Reposition der traumatischen Kyphose sehr gut geeignet sind.

Anders als im thorakolumbalen Übergang oder der LWS sind aufgrund der größeren Hebelwirkungen einerseits und der verwendbaren Schrauben (geringerer Schraubendurchmesser, geringere Schraubenlänge) andererseits längerstreckige Instrumentierungen durch Fixateur-interne-Systeme mit Schrau-

benplatzierung je zwei Wirbel oberhalb und unterhalb der Verletzung zu empfehlen.

Trotz der engen Pedikel sollte der Schraubenverankerung von Fixateursystemen in trans- bzw. extrapedikulärer Technik aufgrund der höheren Stabilität der Vorzug gegenüber Lamina- oder Querfortsatzhaken gegeben werden.

Bei Frakturen der **oberen BWS (T1–5)** ist aus unserer Sicht nur in wenigen Fällen mit ausgedehnter Zerstörung des Wirbelkörpers mit Separation der Fragmente eine additive ventrale Stabilisierung notwendig. Anders als in kaudaleren Wirbelsäulenabschnitten kann meist auf eine direkte Stabilisierung der ventralen Säule verzichtet werden, da das Heilungspotenzial des Knochens gut und der Bandscheibenschaden nicht zuletzt aufgrund der deutlich geringeren Bandscheibenhöhe als im thorakolumbalen Übergang oder LWS-Bereich von untergeordneter Bedeutung ist. Die Materialentfernung kann nach 9–12 Monaten erfolgen.

Im Falle instabiler A3-, B- und C-Verletzungen der **mittleren BWS (T6–10)** kommt einer additiven druckstabilen Rekonstruktion der ventralen Säule bei Zerstörung von mehr als 50% der Wirbelkörperhöhe im sagittalen Profil – mit Ausnahme der weitgehend horizontalen diskoligamentären oder knöchernen Zerreißungen – eine höhere Bedeutung zu. Dies begründet sich darin, dass die physiologische thorakale Kyphose im Verlauf eher zu einer Rekyphosierung führt als dass der knöcherne Thorax einer Kyphosierung entgegenwirkt.

Eine wirkliche Altersgrenze zur ventralen Stabilisierung gibt es nicht, jedoch sind ventrale Instrumentierungen jenseits des 70. Lebensjahrs eher die Seltenheit. Im Rahmen des ventralen Eingriffs wird bei kompletten Berstungsfrakturen ein expandierbarer Cage bisegmental implantiert. Nach 9–12 Monaten kann die dorsale Instrumentierung kranial und kaudal um je ein Segment gekürzt werden (Fallbeispiel 2).

Bei inkompletten Berstungsfrakturen mit intakter Grund- oder Deckplatte kann eine monosegmentale ventrale Instrumentierung erfolgen. In diesen Fällen ist bei computertomografisch



■ Abb. 14.4 Ventrale monosegmentale Spondylodese mit Beckenkammspan und bikortikal fixierter Caspar-Platte bei B 2.3-Verletzung von C7/T1

gesichert erzielter Spondylodese die komplette Entfernung der dorsalen Instrumentation nach etwa 6–9 Monaten möglich.

Isoliert ventrale Stabilisierungen in der oberen und mittleren BWS sind eine absolute Rarität. Die einzige Indikation dafür wäre eine nur gering kyphosierte instabile A-Fraktur, was in der thorakalen Region kaum vorkommt. In diesem Fall müsste eine Läsion des posterioren Ligamentkomplexes (PLC) im Sinne einer B-Verletzung sicher ausgeschlossen werden, wobei auch das MRT dies nicht mit letzter Sicherheit vermag (Lee et al. 2000, Haba et al. 2003). Gravierendere Kyphosen sind derzeit mit den zur Verfügung stehenden Instrumentarien isoliert von ventral minimal-invasiv nicht adäquat zu reponieren.

Eine eigene Entität stellen einzeln betrachtet eigentlich »stabile« thorakale **serielle Wirbelfrakturen** dar. Hier ist eine dorsale Reposition und temporäre Stabilisierung möglich, um einer progredienten Kyphosierung vorzubeugen, da pro frakturiertem Wirbel unter konservativ-funktioneller Therapie eine weitere Sinterung/Kyphosierung von etwa 3–5° einkalkuliert werden muss (Fallbeispiel 3).

➤ **Im Falle von instabilen Frakturen mit neurologischen Ausfällen bis hin zur kompletten Querschnittlähmung muss in jedem Falle eine notfallmäßige dorsale Reposition, Stabilisierung und Dekompression angestrebt werden.**

Besonders im oberen und mittleren BWS-Bereich sollte diese notfallmäßige Therapie in Kombination mit einer Laminektomie erfolgen, da aufgrund bereits physiologischerweise enger Verhältnisse von Myelon und Spinalkanalweite auch bei adäquater Reposition kaum Reserveraum für das Myelon verbleibt und eine weitere Schwellung des Rückenmarks im Rahmen des mediatorvermittelten Sekundärtraumas eintreten kann. Bei verbleibenden inkompletten neurologischen Ausfällen und in der postoperativen CT-Kontrolle noch deutlich nach dorsal verlagertem Hinterkantenfragment empfehlen wir eine rasche zusätzliche ventrale Dekompression.

14.3 Operationstechniken

14.3.1 Zervikothorakaler Übergang

Die Lagerung und der **ventrale Zugang** zum zervikothorakalen Übergang entsprechen dem zur unteren HWS (► Kap. 13). Schwierig kann die Exploration bei sehr adipösen Patienten und auch beim Morbus Bechterew sein. Nach Überprüfung der gelegentlich anhand von Hämatom, Längsbandzerreißen oder deutlicher Instabilität offensichtlichen Läsionshöhe mittels BV ist das Einbringen des Caspar-Spreizers hilfreich. Nach Ausräumen der Bandscheibe ist die Resektion des hinteren Längsbandes nur dann zwingend erforderlich, wenn eine (Sub-)Luxation oder neurologische Symptomatik vorliegt bzw. im MRT ein begleitender Bandscheibenvorfall erkennbar war. Falls noch eine Fehlstellung durch verhakete Facettenluxation besteht, kann diese durch gezielten Einsatz des Arthrodesenspreizers in den meisten Fällen reponiert werden.

Zur Überbrückung des Defekts ist sowohl ein knöcherner Beckenkammspan als auch bei intakten Endplatten nach (Sub-)Luxationsverletzungen ein intervertebraler Cage verwendbar.

Der Span hat den Vorteil einer an der HWS fast immer sicheren knöchernen Spondylodese bei jedoch vorhandener Entnahmemorbidität am Becken. Der Vorteil des Cages besteht in der Vermeidung der Entnahmemorbidität und kürzerer Operationszeit, nachteilig sind die erhöhten Implantatkosten. Bei schnellerer Fusion des Spans sind die Fusionsraten von Span und Cage nach 24 Monaten gleich (Kandziora 2005). Die Stabilisierung mit einer zusätzlichen Plattenosteosynthese ist obligat und erfolgt wie bereits im vorangegangenen Kapitel umfassend beschrieben.

Der **dorsale Zugang** zur Stabilisierung ist nur bei von ventral nicht reponierbaren Luxationen, wie sie gelegentlich bei begleitenden Facettenfrakturen vorkommen können, oder bei längerstreckigen dorsalen osteoligamentären Läsionen notwendig. Außerdem sollte zusätzlich zur ventralen Stabilisierung eine dorsale Instrumentierung bei Morbus Bechterew durchgeführt werden (► Kap. 22). Der Zugang entspricht dabei im Wesentlichen dem im folgenden Abschnitt beschriebenen dorsalen Zugang zur BWS. Für die Instrumentierung werden spezielle zervikale Fixateur-Systeme verwendet (► Kap. 13). Die Instrumentierung auf die BWS kann entweder über Konnektoren zur Überbrückung differenter Längsstabdurchmesser oder speziell konfektionierten Stabsystemen erfolgen.

14.3.2 Dorsale Instrumentierung der Brustwirbelsäule

Lagerung

In Intubationsnarkose wird der Patient auf den Bauch gedreht. Dazu wird vorher der Durchleuchtungs- oder Karbontisch mit Lagerungskissen für Kopf, Thorax, Becken, Knie und Sprunggelenke bestückt. Wir empfehlen bei Eingriffen an der oberen BWS die Verwendung einer Kopfschale, um eine Kopffrotation zu vermeiden.

Im Gegensatz zum thorakolumbalen Übergang und der LWS, wo wir ein hohes Brustkissen aus Silikon verwenden, um eine möglichst lordosierende Lagerung und somit bereits präoperativ eine gute Reposition zu erreichen, empfiehlt es sich, bei Instrumentierungen der mittleren und oberen BWS thorakal nur ein mittelhohes Silikonhalbkissen unterzulegen. Dadurch verbessert sich auch die Qualität der intraoperativen Durchleuchtungsbilder.

Um die seitliche Durchleuchtung der oberen und mittleren BWS zu gewährleisten, lagern wir die Arme bei Frakturen bis T7 seitlich am Körper an, bei Verletzungen von T8 und darunter können sie unter Vermeidung einer Überstreckung im Schultergelenk (<90° Abduktion, ca. 10–20° Anteversion) nach kranial auf Armschienen gelagert werden. In allen Fällen ist auf eine gute Unterpolsterung speziell des N. ulnaris zu achten.

Danach werden unter Durchleuchtung im a.p.-Strahlengang bei jeweils etwa parallel zur Deckplatte des kranialsten und Grundplatte des kaudalsten zu instrumentierenden Wirbels gekippten C-Bogen diese auf der Haut markiert.

Zugang

Nach sterilem Abwaschen und Abdecken wird unter »Single shot«-Antibiose zwischen den markierten Punkten in der Median-

linie die Hautinzision durchgeführt. Bei adipösen Patienten ist es ratsam, die Inzision etwas nach kranial und kaudal auszudehnen, um spätere Weichteilirritation durch Hakenzug zu vermeiden. Die Subkutis wird durchtrennt; es folgt die scharfe oder monopolare Inzision der Faszie hart an den Dornfortsätzen und Abschieben der Muskulatur mit dem Cobb-Raspatorium. Einzelne sich anspannende Fasern werden mit Schere oder monopolar von Dornfortsätzen/Laminae abgelöst. Zwar sollte das Ablösen der Muskulatur so sparsam wie möglich erfolgen, jedoch ist an der BWS zur sicheren Schraubenplatzierung eine Darstellung der dorsalen Wirbelanteile bis zur Mitte der Strecke zwischen »Mulde« und Querfortsatzspitze hilfreich. Die Blutstillung erfolgt durch eine temporäre Streifentamponade mit anschließender gezielter Koagulation. Wundspreizer können verwendet werden, sind jedoch aufgrund dauerhaften Drucks auf die Muskulatur mit konsekutiv gestörter Mikrozirkulation ungünstig. Des Weiteren behindern Selbsthalterhaken gelegentlich eine ausreichende Konvergenz beim folgenden Einbringen der Pedikelschrauben.

➤ **Aufgrund des geringeren Implantatvolumens und somit geringerer Irritation der Muskulatur ziehen wir insbesondere in der BWS Pedikelschrauben-Systeme den Schanzschrauben-Systemen vor.**

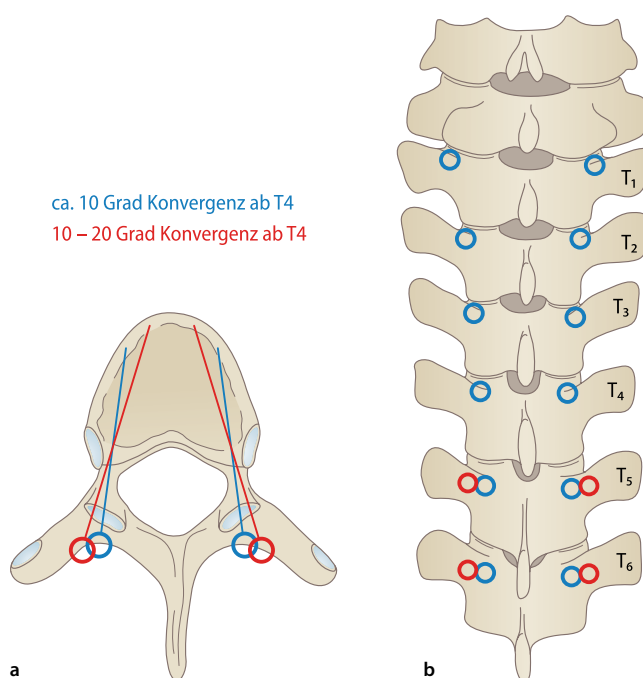
Alternativ zum offenen Vorgehen werden auch in der Brustwirbelsäule zunehmend perkutane Verfahren angewandt. Aufgrund der im Vergleich zur Lendenwirbelsäule geringeren Weichteildeckung kommt hierbei dem Offset der verschiedenen Systeme eine entscheidende, teils limitierende Bedeutung zu.

Platzieren der Schrauben

Es existieren zahlreiche individuelle Techniken der Schraubenpositionierung; zwei wesentliche sollen an dieser Stelle erläutert werden.

Der klassische Eintrittspunkt für die **transpedikulären Schrauben** befindet sich thorakal in mediolateraler Richtung am tiefsten Punkt der »Mulde« zwischen Lamina und Querfortsatz. Das entspricht etwa dem lateralen Drittel des kranial benachbarten Facettengelenks. In kraniokaudaler Richtung liegt der Eintrittspunkt von T1–4 knapp unterhalb des Facettengelenks bzw. etwa 2 mm kaudal des Oberrandes des Querfortsatzes, ab T5 etwas weiter kaudal, ca. 2–5 mm unterhalb des Facettengelenks bzw. etwa in der kraniokaudalen Mitte des Querfortsatzes. Von dem jeweiligen Eintrittspunkt aus verläuft die Pedikelachse bei T1 ca. 25–35°, bei T2 ca. 15–25°, bei T3 ca. 10–15° und ab T4 max. 10° konvergierend (Aebi et al. 2007).

Längere, mehr Stabilität vermittelnde Schrauben kann man wählen, wenn der Eintrittspunkt etwas weiter lateral liegt und die Schraubenkonvergenz auch unterhalb T4 auf deutlich über 10° erhöht wird. Hierdurch vermindert sich einerseits das Risiko einer ventrolateralen Perforation des Wirbelkörpers bei relativ parallelem Einbringen der Schrauben in o.g. Technik. Um das andererseits erhöhte Risiko einer medialen Perforation zu reduzieren, ist neben Erfahrung ein exaktes Studium des Unfall-CT's mit individueller Pedikelgeometrie der zu instrumentierenden Pedikel und auch die geistige Übertragung dieser Daten auf das intraoperative BV-Bild notwendig. Die Navigation (► Kap. 10) bietet sich aufgrund der zusätzlichen axialen Bildgebung insbe-



■ **Abb. 14.5** Landmarken der Pedikelschraubenplatzierung schematisch dargestellt. Die Eintrittspunkte der Schrauben in T1–3 sind immer etwas weiter lateral, was beim späteren Anpassen der Längsstäbe berücksichtigt werden muss

sondere bei der Platzierung thorakaler Schrauben an (■ Abb. 14.5, ■ Abb. 14.6).

Zur Eröffnung der oft kräftigen Kortikalis kann eine scharfe Ahle verwendet werden. Bei stark nach dorsal aufragenden Querfortsätzen ist es möglich, mit dem Luer ein kleines Stück der Kortikalis des Querfortsatzes zu resezierem, um ein Abdrängen der Schraube auf den letzten Gewindegängen durch den auf den Querfortsatz auflaufenden Schraubenkopf zu vermeiden.

Da wir aufgrund der schmalen Pedikel mit folglich geringem Schraubendurchmesser in der oberen und mittleren BWS je zwei Wirbel kranial und kaudal der Verletzung besetzen, können – um häufiges Durchschwenken des C-Bogens zu vermeiden – die Eintrittspunkte mit kurzen Kirschnerdrähten versehen, in a.p.-Richtung mit BV erfasst und auf dem rechten BV-Monitor fixiert werden. Danach wird der BV seitlich durchgeschwenkt. Mit stumpfer Ahle werden die Pedikel präpariert und die Spongiosa an den Rand komprimiert. Sobald ein stärkerer Widerstand auftritt, läuft die Ahle auf kortikalen Knochen auf, sodass dann die Richtung korrigiert werden muss. Ein BV-Bild in seitlicher Richtung ist hilfreich, um einen nahezu parallelen bzw. gering nach kaudal geneigten Verlauf zur Deckplatte des Wirbels zu realisieren.

Nach Entfernen der Ahle wird die Unversehrtheit der Begrenzungen des Kanals mit einer Knopfsonde oder Längenmessinstrument geprüft. Die anschließend einzubringende Schraube findet ohne großen Druck ihren Weg selbst. Die Schraubendimension lässt sich am präoperativen CT, ihre Länge auch intraoperativ anhand der markierten Ahle bestimmen. Je nach Konvergenz der Schraube sollte sie 5–10 mm hinter der im seitlichen Bild sichtbaren vorderen Wirbelkörperbegrenzung enden, um diese nicht zu perforieren. Ein Überkreuzen der Schraubenspit-

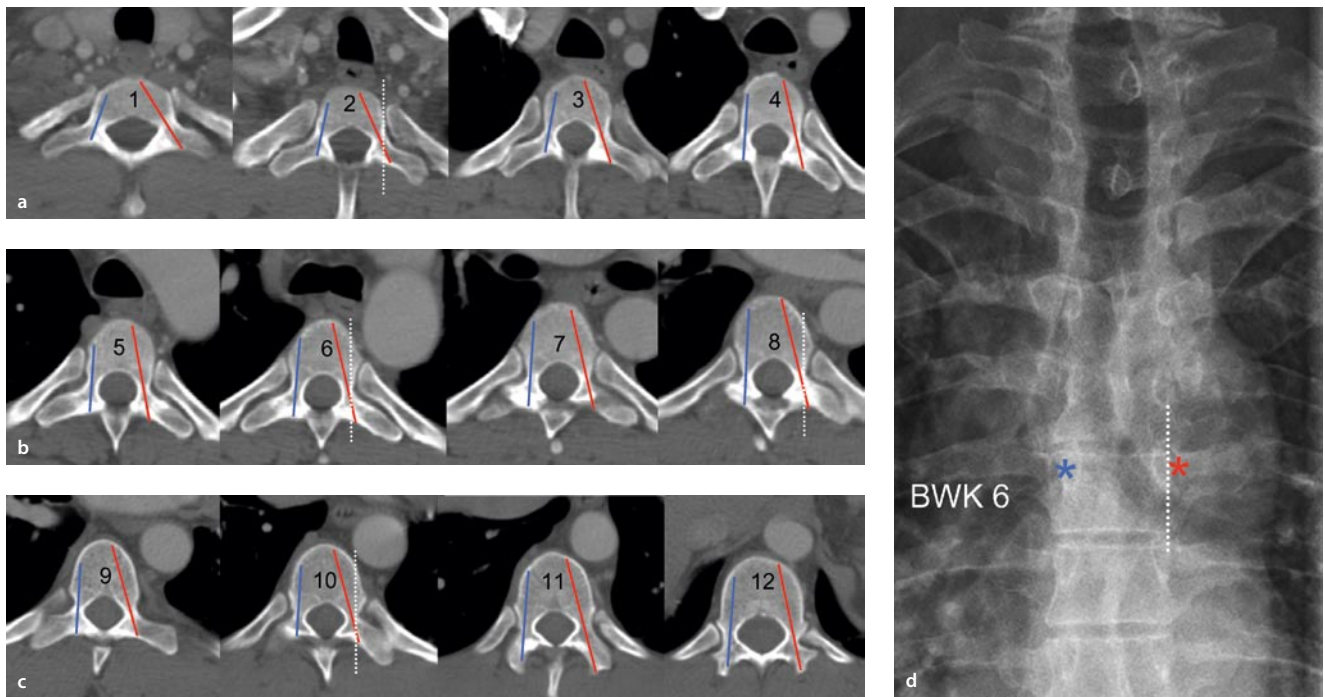


Abb. 14.6 Pedikelschraubenplatzierung visualisiert an CT- und Röntgenbild. Transpedikuläre Schraubenplatzierung jeweils knapp unterhalb der Facetten-gelenke: In klassischer Technik mit geringerer Konvergenz, max. 10° ab T4 (blau/Eintrittspunkt am tiefsten Punkt der »Mulde«, im a.p.-Bild in lateralem Anteil des »Auges« = blauer Stern im Röntgenbild) und individuell angepasst in stärker konvergierender Technik (rot/Eintrittspunkt weiter lateral, im a.p.-Bild an der äußeren Begrenzung [= weiße gepunktete Linie] oder noch etwas lateral des »Auges« = roter Stern im Röntgenbild), wodurch längere Schrauben, mehr Halt vermittelnde Schrauben gewählt werden können. Zu beachten ist auch Lagebeziehung der Aorta zum Wirbelkörper in den verschiedenen Höhen

zen im a.p.-Bild ist immer durch die Fehlplatzierung mindestens einer Schraube verursacht.

Bei sehr engen Pedikeln mit einem Durchmesser unter 4 mm können ausreichend dicke Schrauben nur in der **extrapedikulären Technik** oder auch so genannten »In-out-in«-Technik platziert werden (Dvorak et al. 1993, Morgenstern et al. 2003). Der Eintrittspunkt liegt hierbei weiter lateral im Bereich des Querfortsatzes. Ein ganz lateraler Eintritt an der Spitze des Querfortsatzes sollte jedoch aufgrund von dann verringerter Muskeldeckung vermieden werden und ist auch kaum notwendig. Unter individuell am präoperativen CT bestimmter Konvergenz von oft mehr als 20° verlässt der vorzubereitende Schraubenkanal den Querfortsatz, um von lateral her in den Wirbelkörper eindringen. Durch diese Technik passiert die Schraube drei kortikale Strukturen und findet meist sehr guten Halt. Theoretisch mögliche Irritationen der Interkostalnerven oder Kostotransversalgelenke beklagen die Patienten im Verlauf praktisch kaum (Abb. 14.7).

Einsatz der Navigation

Nach anfänglichen Problemen (Arandt et al. 2002) ist heutzutage auch die Navigation in der oberen und mittleren BWS basierend auf dem präoperativen CT oder alternativem Einsatz eines navigationsfähigen intraoperativen 3-D-Scanners als auch O-Arm und Kenntnis der potenziellen Komplikationen möglich und wird von uns standardisiert eingesetzt (Jarvers et al. 2008, Katscher et al. 2008). Die Bildqualität ist bei sehr adipösen Patienten und reduzierter Knochenqualität eingeschränkt.

Während mit dem intraoperativen 3-D-BV und O-Arm kein Matching notwendig ist, hat sich als Matching-Prozedur bei

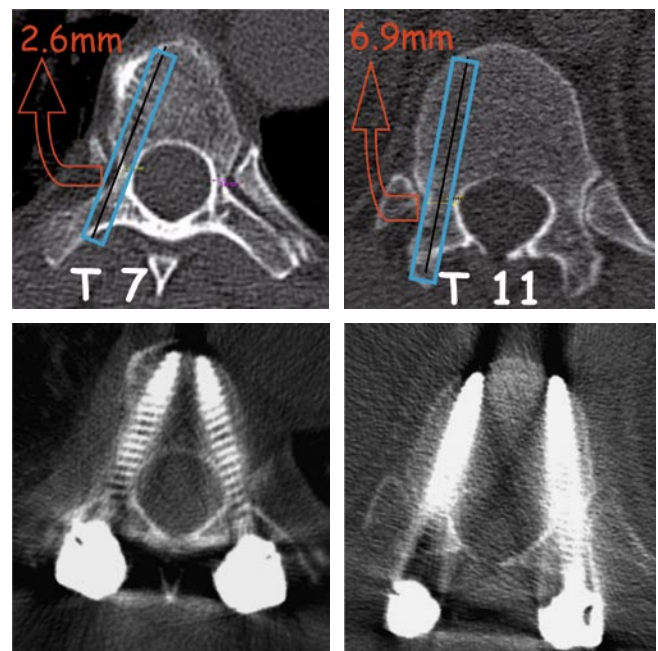
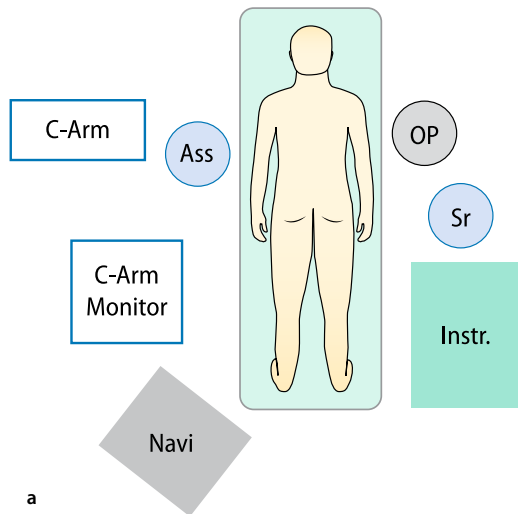
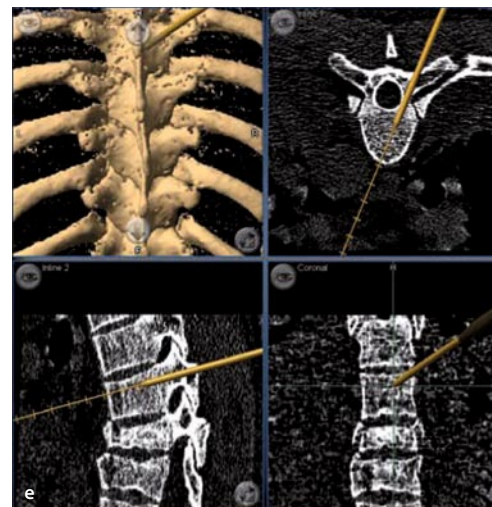
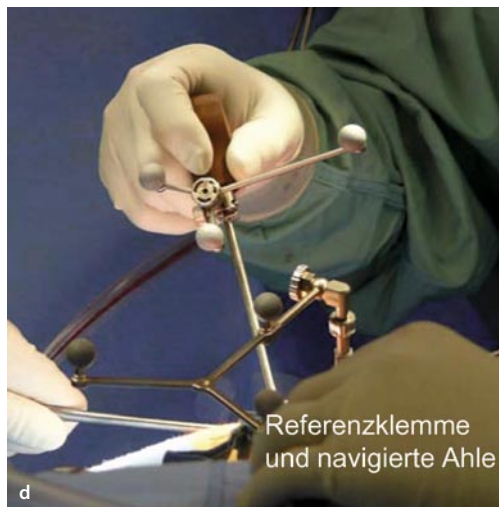
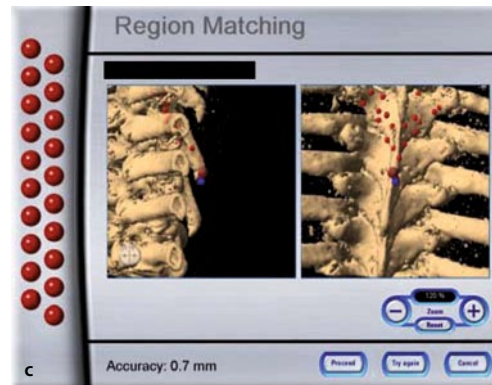
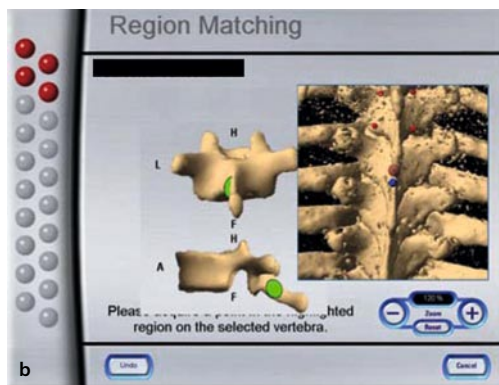


Abb. 14.7 Schraubenplatzierung in extrapedikulärer Technik (»in-out-in«) bei sehr engen Pedikeln in oberer und mittlerer BWS im Vergleich zur transpedikulären Technik bei breiteren Pedikeln

CT-basierter thorakaler Navigation das Oberflächen-Matching bewährt, bei dem die Oberfläche des zu instrumentierenden Wirbels mit einem speziellen Instrument (»Pointer«) abgegriffen wird. Eine angezeigte, vom Navigationsgerät berechnete Genau-



■ **Abb. 14.8** Schematische Anordnung im Operationssaal, Matching und intraoperative Bilder bei dorsaler Instrumentierung instabiler thorakaler Frakturen unter Einsatz der Navigation



igkeit von <1 mm ist dabei anzustreben. Wenn zwischen den beiden jeweils kranial und kaudal der Verletzung gelegenen und mit Schrauben zu besetzenden Wirbeln keine traumatische Instabilität besteht, reicht es an der BWS erfahrungsgemäß aus, das Matching nur an einem der beiden kranialen Wirbel und einem der beiden kaudalen Wirbel durchzuführen und die Pedikel beider Wirbel damit zu präparieren.

Im Gegensatz zu Position des Operators und Anordnung der Geräte bei der konventionellen Technik ist es für den Rechtshänder bei Einsatz der Navigation insbesondere an der oberen BWS

aufgrund des hier kopfwärts abfallenden Verlaufs der BWS angenehmer, rechts vom Patienten zu stehen, während sich BV und Navigationseinheit auf der linken Seite befinden (■ Abb. 14.8).

Bei Berstungsfrakturen und gleichzeitig verminderter Knochenqualität ist die Zementaugmentierung der Schrauben möglich. Dafür stehen spezielle Schrauben von verschiedenen Anbietern zur Verfügung. Es können aber auch konventionelle Schrauben einzementiert werden (► Kap. 8 und 26). Es ist hierbei zur Vermeidung von epiduralen Zementleckagen darauf zu achten, dass nach Präparation des Pedikels der Zement nicht zu flüs-

sig eingebracht wird. Weitere Details zu dieser speziellen Entität und zu osteoporotischen Sinterungsfrakturen werden im entsprechenden Kapitel erläutert (► Kap. 26).

Reposition

Nach hochgradigen Rasanstraumen mit Luxationsverletzungen ist zunächst die Luxation zu reponieren, was in diesen eher seltenen Fällen, wenn möglich, bereits vor der Schraubenplatzierung durchgeführt werden sollte. Sind die Facettengelenke, die sich normalerweise dachziegelartig überlappen, verhakt, lassen sich diese unter Einsatz eines Elevatoriums wieder einrichten.

Die Korrektur der traumatischen Kyphose verläuft in Abhängigkeit der verwendeten Fixateursysteme jeweils etwas unterschiedlich. Wenn zur Pedikelinstrumentierung Schanzschrauben verwendet werden, erfolgt die Reposition durch Lordosierung und ggf. Distraction über die Längsstab-Spannbacken-Verbindung. Die Reposition sollte dabei nach kaudaler Fixierung der Stäbe beidseits parallel durchgeführt werden. Um beim Manöver der Lordosierung durch zu starkes Aufeinanderzubewegen der Spannbacken auf den Längsstäben eine Kompression der Wirbelkörperhinterwand zu vermeiden, können Halbringe auf die Längsstäbe montiert werden.

Wir favorisieren Pedikelschraubensysteme an der BWS, welche unserer Auffassung nach aufgrund des geringeren Offsets der Pedikelschrauben im Vergleich zu Schanzschrauben mit Universalverbindern eine geringere Irritation der Muskulatur bewirken. Bei der Instrumentierung mit Pedikelschrauben kann die Kyphoskorrektur nur durch entsprechendes Vorbiegen der Längsstäbe erzielt werden. Es ist schwierig, dafür eine genaue Anleitung zu geben, denn es handelt sich dabei um Erfahrung und Augenmaß. Je nach Kyphosierung sollten die Stäbe nach Konnektion mit den kaudalen Schrauben 10–30 mm dorsal der Konnektionsebene der kranialen Schrauben zu liegen kommen. Die Reposition erfolgt unter Einsatz der Stabeindrückzange (»Persuader«) und einer an der Pedikelschraubenverlängerung anzubringenden Repositionshilfe, mit denen die Stäbe zunächst an die proximalsten Schraubenköpfe gedrückt und mit denen verbunden werden (► Abb. 14.9). Danach erfolgt die Konnektion an die anderen Schrauben.

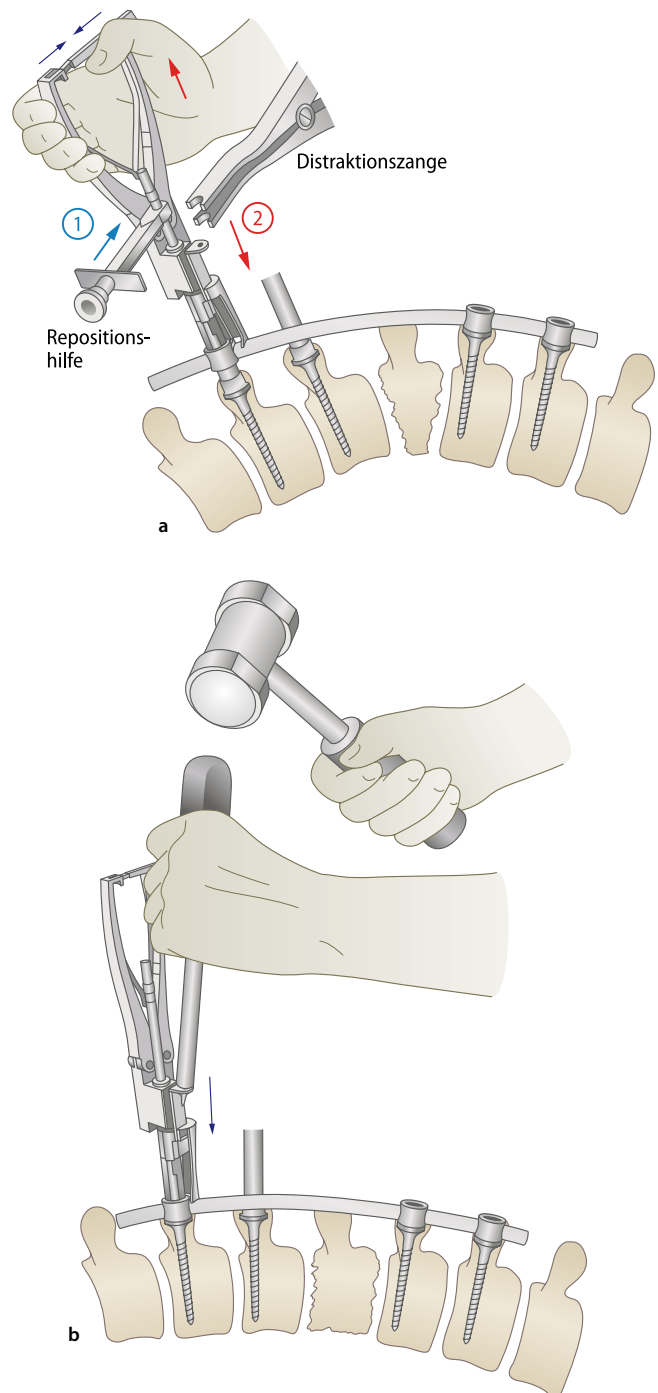
Vor endgültigem Festziehen der Schrauben-Stab-Konnektion ist auch eine BV-Kontrolle in der a.p.-Ebene vorzunehmen, um eine evtl. in dieser Ebene noch bestehende Angulation ausgleichen zu können.

Da Querverbinder in biomechanischen Testungen auch zu einer Erhöhung der Rotationsstabilität bei A- und B-Verletzungen geführt haben, nutzen wir sie nicht nur bei C-Verletzungen generell in der oberen und mittleren BWS.

Dorsale Spondylodesen führen wir bei den üblicherweise längeren Instrumentationen in dieser Region in der Regel nicht durch – zu empfehlen sind sie jedoch bei schwerwiegenden B/C-Verletzungen im Bereich des betroffenen Segmentes in Fällen, bei denen keine additive ventrale Stabilisierung erfolgt. Wir verwenden dann Knochenersatzmaterial.

Laminektomie

Obwohl sie eine weitere Destabilisierung bedeutet, bietet die Laminektomie bei vorliegenden neurologischen Ausfällen neben



■ **Abb. 14.9a, b** Repositionsmanöver bei Einsatz von Pedikelschrauben über Stabbiegung unter Verwendung einer Repositionshilfe (a, b): Die vorgebogenen Längsstangen sind beidseits distal fixiert, Stabeindrückzange (»Persuader«) auf Pedikelschraubenverlängerung der kranialsten Schraube aufsetzen und Längsstange heranziehen. Durch Aufsetzen der Repositionshilfe (1) und Einsatz der Distraktionszange (2) wird der Stab an den Schraubenkopf gebracht und somit die Fraktur reponiert. Anschließend Aufschlagen der Hülse (b) und Fixation mit Mutter. Unmittelbar danach gleiches Vorgehen auf der Gegenseite, um eine Torsion zu vermeiden. Danach werden die nächst distalsten Schrauben an den Stäben fixiert. Unter seitlicher BV-Kontrolle Prüfen ob eine Distraction zur weiteren Reposition noch erforderlich ist und diese ggf. durchführen. Vor endgültiger Fixierung unter a.p. BV-Durchleuchtung Achse prüfen



■ **Abb. 14.10** Laminektomie nach notfallmäßiger Reposition und Montage eines Längsträgers bei hochgradig instabiler T6/7 Luxationsfraktur (Typ C) mit Myelonkonpression und kompletter Querschnittssymptomatik

der Reposition die einzige Chance für eine notfallmäßige Dekompression des Rückenmarks. Auch aus der Onkologie und Metastasenchirurgie an der Wirbelsäule ist die Verbesserung neurologischer Ausfälle nach derartigen Dekompressionen gut bekannt. Speziell im Bereich der mittleren BWS mit engem Spinalkanalquerschnitt ist sie auch im Rahmen der Traumaversorgung bei vorliegender neurologischer Symptomatik indiziert.

Vor Beginn der Laminektomie sollte bei hochinstabilen Verletzungen zur Stabilisierung ein Längsträger montiert werden. Dann erfolgt zunächst die Inzision des Ligamentum supraspinosum und Ligamentum interspinosum jeweils kranial und kaudal des Dornfortsatzes des verletzten Wirbels mit dem Skalpell und der Dornfortsatz wird mit dem Luer abgetragen. Von der Seite her wird anschließend mit größer werdenden Stanzen die Resektion der Lamina vorgenommen und wiederholt die Mobilität der Dura mit dem Kilian- oder Freer-Haken geprüft. Alternativ kann die Laminektomie auch mit einer Kugelfräse begonnen werden. Zum Abschluss ist mit dem Kilian-Haken die Begradigung der Ränder zu prüfen und ggf. unter nochmaligem Einsatz von Stanzen zu optimieren (■ Abb. 14.10).

14.3.3 Ventrale Instrumentierung der Brustwirbelsäule

Die ventrale Instrumentierung ist kein Notfall- oder Diensteingriff. Sie erfolgt bei Zerstörung der vorderen Säulen an der oberen und mittleren BWS überwiegend als Sekundäroperation und in Abhängigkeit von Begleitverletzungen meist 4–10 Tage nach bereits durchgeführter dorsaler Stabilisierung. Dieser Eingriff ist

bei speziellen o.g. Verletzungen indiziert, um das wieder erzielte Alignment dauerhaft zu sichern und einen späteren Korrekturverlust zu vermeiden.

Bei jüngeren Patienten kann sie im medizinisch begründeten Ausnahmefall (z.B. Polytrauma, Mutter mit kleinem Kind, Suizidversuch etc.) auch im Rahmen eines zweiten stationären Aufenthaltes nach 4–6 Wochen durchgeführt werden. Patienten mit nachgewiesener oder beginnend verminderter Knochenqualität, welche bei der dorsalen Instrumentierung anhand des Widerstandes beim Eindrehen der Schrauben bemerkt wird, sollten jedoch stets innerhalb eines Krankenhausaufenthalts kombiniert dorsoventral versorgt werden, um eine Auslockerung des dorsalen Fixateurs zu vermeiden.

Wahl der Zugangsseite

In Abhängigkeit von der Lage der Aorta zur seitlichen Wirbelkörperwand wird die Seite des Zugangs festgelegt. Kranial liegt die Aorta nahezu vollständig der linken Seite des Wirbelkörpers an (■ Abb. 14.6), sodass es günstiger ist, einen rechtsseitigen Zugang zu verwenden. Dies gilt v.a. dann, wenn nicht nur ein Cage eingebracht werden soll, sondern eine zusätzliche Instrumentation geplant ist. Weiter kaudal zieht die Aorta individuell verschieden zum ventrolateralen Anteil des Wirbelkörpers. Nimmt die Aorta im CT lediglich das vordere Drittel der seitlichen Wirbelkörperwand ein, entscheiden wir uns zum linksseitigen, ansonsten bevorzugen wir den rechtsseitigen Zugang.

Zugang

Neben der klassischen offenen Technik (► Kap. 6) stehen minimal-invasive Verfahren mit verringerter Zugangsmorbidität mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen zur Verfügung, welche jeweils in den entsprechenden Kapiteln (► Kap. 8, 9) detailliert beschrieben sind und hier nur kurz erwähnt werden (Übersicht).

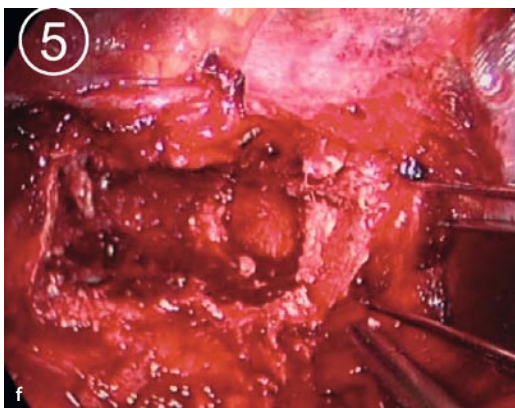
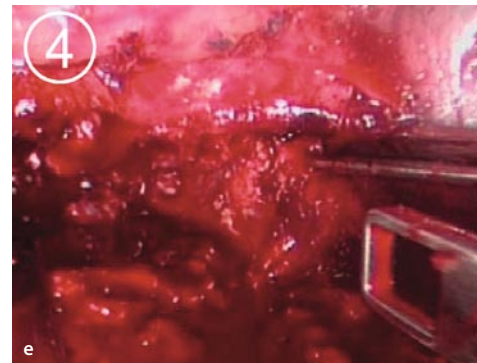
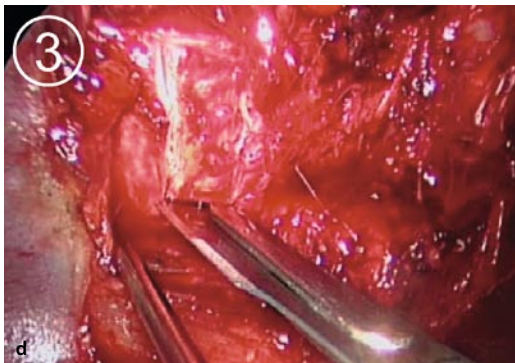
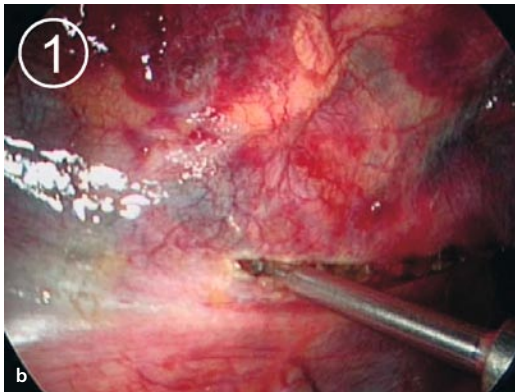
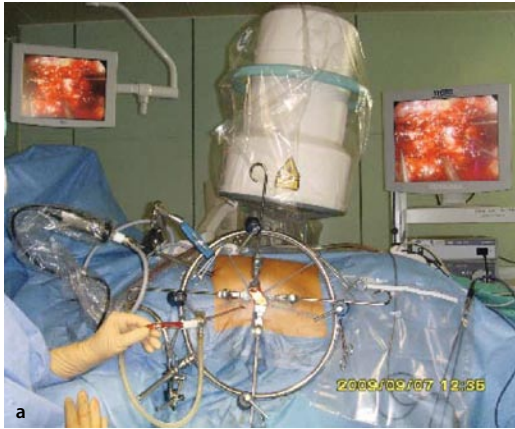
Minimal-invasive Techniken

Thorakoskopische Technik in Seitlage (Beisse et al. 1998, 2005, Bühen et al. 1997):

- Diese Technik erlaubt Instrumentierungen von T4 bis L2. Über vier Zugangsportale, von denen der erste in Form einer Minithorakotomie, alle weiteren thorakoskopisch gestützt angelegt werden, ist es gut möglich, die Wirbelsäule zu explorieren und die verletzte Region zu stabilisieren.

Thorakoskopisch assistierte, minimiert offene Technik in Bauchlage (Verheyden et al. 2002, Verheyden et al. 2004, Katscher et al. 2007):

- Mithilfe des Einsatzes eines Retraktorsystems sind Instrumentierungen von T6 bis L2 möglich. Neben einem unter Schonung des M. latissimus dorsi angelegten Arbeitszugangs (ca. 4–5 cm) ist ein Optikzugang und fakultativ ein drittes Portal für den Sauger erforderlich, welcher auch direkt über die Minithorakotomie eingesetzt werden kann. Die Wirbelsäule ist dann in ähnlicher Weise wie rein thorakoskopisch frei sichtbar. Bei linksseitigem Zugang wird die Aorta mit einem Retraktorblatt geschützt.



■ **Abb. 14.11** Operationssitus bei ventraler Instrumentation einer kompletten Berstungsfraktur von T10. Schrittweise erfolgt die Präparation des Interponatlagers. (1) Ultraschallinzision der frakturbedingt unterbluteten Pleura, (2) Gefäßpräparation, das ventrale Retraktorblatt schützt permanent die darunter befindliche Aorta, (3) Inzision der kranialen Bandscheibe mit Skalpell, (4) Säubern der kaudalen Deckplatten von Bandscheibenresten, (5) vorbereitetes Cage-Lager

Präparation des Interponatlagers

Zunächst wird unter BV-Kontrolle der verletzte Wirbel identifiziert, anschließend die Pleura über dem Wirbel sowie mit Verlängerung nach kranial und kaudal entsprechend einer geplanten Stabilisierung bevorzugt mit dem Ultraschallmesser oder alternativ mit monopolarer Haken längs gespalten. Nach Mobilisation der Pleura mit Raspatorium eignet sich zur Darstellung und Isolation der Segmentgefäße des verletzten Wirbels eine gebogene endoskopische Overholt-Klemme. Die Gefäße verlaufen relativ mittig »im Tal« zwischen den etwas erhabenen Bandscheiben und sind in der oberen und mittleren BWS oft bereits vor Durchtrennung der Pleura gut sichtbar.

Vor dem **Absetzen der Segmentgefäße** clippen wir diese doppelt nach ventral zur Aorta und einfach nach dorsal und koagulieren dazwischen zusätzlich mit bipolarer Pinzette. Diese doppelte Sicherung bewahrt vor unangenehmen Blutungen, sollte sich mal ein Clip bei weiterer Präparation lösen – was durchaus passieren kann. Manchmal sind die Gefäße allerdings derart in die Fraktur hineingezogen, dass sie sich nicht exakt präparieren lassen. In solchen Fällen verzichten wir auf Clips und koagulieren die Gefäße bereits bei erschwerter Präparation.

! Cave

Sollte ein Segmentgefäß einreißen, muss der Assistent dieses sofort mit der Saugerspitze komprimieren, sodass dann eine gezielte bipolare Blutstillung erfolgen kann.

Bei **Vorliegen eines kompletten Berstungsbruchs** erfolgt im nächsten Schritt die scharfe Ablösung der an die Fraktur angrenzenden Bandscheiben von der Grundplatte des kranialen bzw. Deckplatte des kaudalen Wirbels mit dem Skalpell. Nach Inzision der Bandscheiben auch nach ventral und dorsal etwa je 5 mm von der ventralen bzw. dorsalen Begrenzung werden diese wechselweise mit Rongeur, Stanzen und Kürette entfernt. Dazwischen wird anschließend der zerborstene Wirbelkörper mit Rongeur und Stanzen so weit ausgeräumt, dass ein Cage eingebracht werden kann (■ Abb. 14.11). Am vorderen Längsband sollten einige knöcherne Fragmente verbleiben. Wenn keine neurologischen Ausfälle vorliegen, können aufgrund des bekannten Phänomens des spontanen Remodellings des Spinalkanals (de Klerk et al. 1998) auch dorsal Knochenfragmente verbleiben, sofern sie den Spinalkanal nicht wesentlich einengen und keine neurologischen Ausfälle vorliegen.

Bei **inkompletten Berstungsfrakturen**, bei denen etwa 50% des Wirbelkörpers noch intakt sind, wird neben der Fraktur benachbarten Bandscheibe nur der zerstörte Wirbelkörperanteil reseziert, um eine monosegmentale ventrale Stabilisierung zu realisieren.

Im Falle **fortbestehender, insbesondere inkompletter neurologischer Ausfälle** nach notfallmäßiger dorsaler Reposition und Dekompression mit CT-morphologisch verbliebener Hinterkantenverlagerung führen wir zur vollständigen Wiederherstellung der lichten Weite des Spinalkanals die Resektion des Hinterkantenfragments von ventral her durch. Dies gelingt am besten nach zugangsseitiger Resektion der Pedikelbasis (Beisse 2005), gefolgt von vorsichtiger Ablösung des Fragments von der Dura. Für diesen Operationsschritt ist der Einsatz der ventralen Navigation nützlich (■ Abb. 14.12).

Defektüberbrückung

Zur Wiederherstellung der druckaufnehmenden ventralen Säule wird bei ventralen **bisegmentalen Versorgungen** aufgrund kompletter Berstungsfrakturen oder Berstungsspaltfrakturen ein Wirbelkörperersatzimplantat zunehmend in Form eines expandierbaren Cages interponiert (Reinhold et al. 2009, Kandziora 2004). Bezüglich Durchmesser und Angulation modulare Cage-Abschlussplatten sind für einen Implantationsvorgang ohne Läsion von Grund- bzw. Deckplatten der angrenzenden Wirbel sowie für eine optimale Lage und Verklebung des Cages sinnvoll.

Die Cages bringen wir bei Patienten mit guter Knochenqualität ventral »stand alone« ein. Bei reduzierter Knochenqualität, wie sie bereits im CT sichtbar oder im Rahmen der dorsalen Instrumentation bei Schraubeninsertion »fühlbar« ist, führen wir aufgrund der in der Diskussion dargestellten eigenen positiven Erfahrungen eine zusätzliche Instrumentation durch.

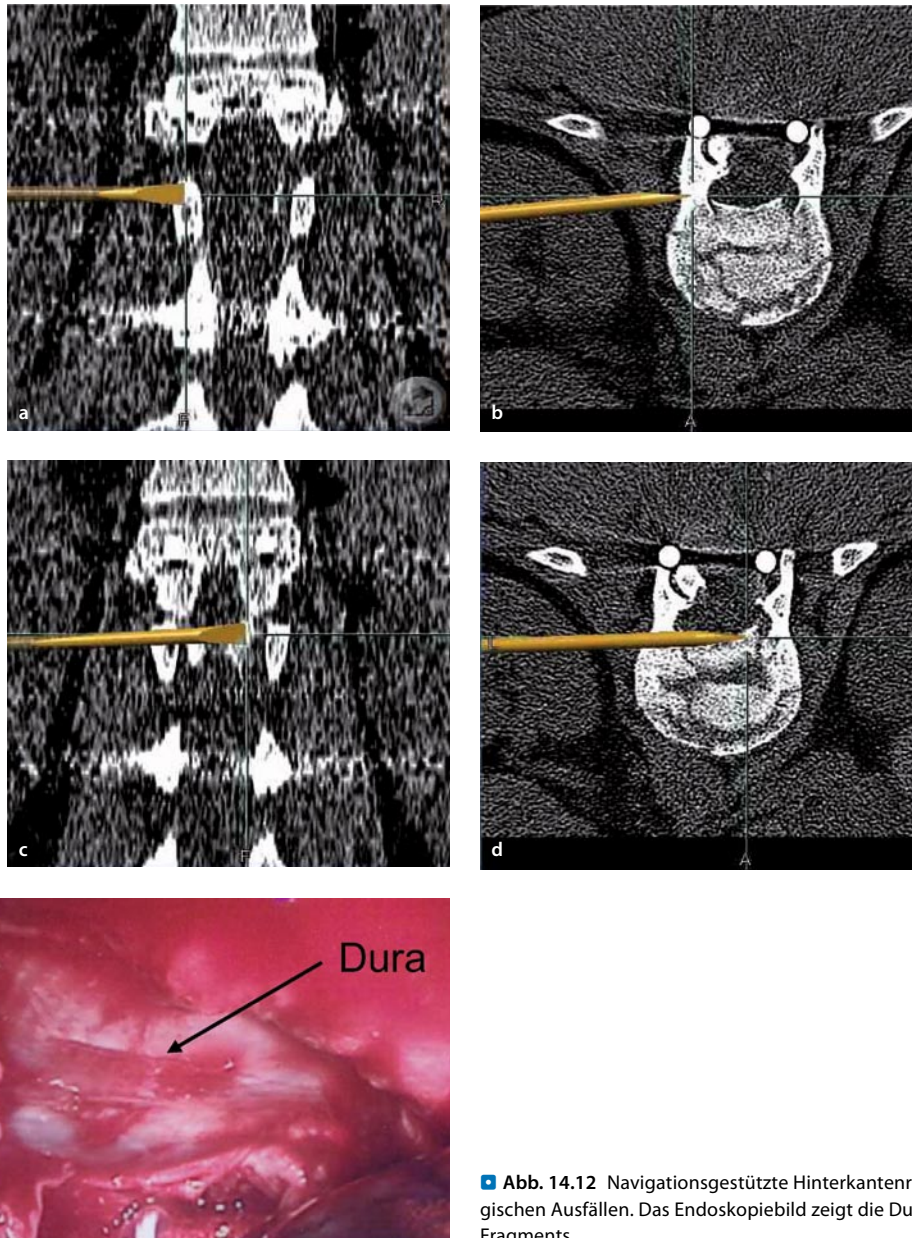
Die optimale operative ventrale Versorgung **inkompletter Berstungsbrüche** steht im Fokus der aktuellen Diskussion (Schnake et al. 2008, Verheyden et al. 2011). In der oberen und mittleren BWS sind diese Verletzungen im Vergleich zum thorakolumbalen Übergang selten. Wenn sie auftreten und eine ventrale Stabilisierung erforderlich ist, kann man einerseits wie auch von Knop et al. publiziert (Knop et al. 2009), zusätzlich zur dorsalen Instrumentation mit einem ventralen monosegmentalen »Stand alone« Cage und lateraler Anlagerung von Spongiosa aus der partiellen Wirbelkörperresektion stabilisieren (■ Abb. 14.13). Andererseits besteht die Möglichkeit, bei einem für eine Schraubenplatzierung ausreichend erhaltendem kaudalen Wirbelkörperanteil ein ventrales winkelstabiles Implantat mit einem nicht expandierbarem Tantal-Cage (alternativ zum klassischen Beckenkammspan) zu kombinieren (► Kap. 15). Letztere Option beinhaltet eine erhöhte Sicherheit, die dorsale bisegmentale Instrumentation auch bei noch nicht definitiv erfolgter ventraler knöcherner Fusion nach 6 Monaten zur Freigabe des kaudalen Bewegungssegmentes wieder entfernen zu können.

Sollte der kaudale Wirbelkörperanteil des betroffenen Wirbels kein ausreichend stabiles Widerlager für die dargestellten Techniken bieten, kann das kaudal sich anschließende Bewegungssegment geopfert werden und eine ventrale bisegmentale Stabilisierung in o.g. Weise erfolgen.

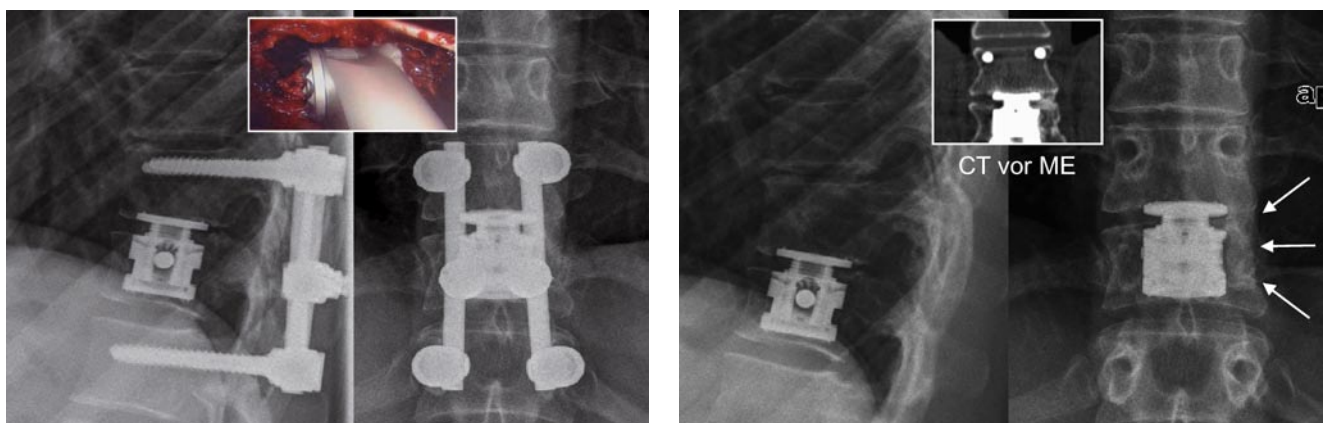
Die aus der Wirbelkörperresektion gewonnenen kortikospöngiösen Fragmente werden jeweils lateral angelagert und die Pleura wenn möglich verschlossen. Da ein vollständiger Pleuraverschluss insbesondere bei zusätzlicher Instrumentation jedoch oft nicht möglich ist, kann auch ein resorbierbares Flies eingebracht werden, um eine Positionsveränderung der spöngiösen Chips zu verhindern.

Am Ende der Operation wird über einen bestehenden Zugang eine **Thoraxdrainage** eingelegt und die Lunge vor Thoraxverschluss durch die Anästhesie gebläht. Eine Nachbeatmung ist nicht erforderlich.

Am Folgetag wird bei regelhaftem Auskultationsbefund während der morgendlichen Visite die Drainage abgeklemmt, im Intervall von 4–6 h eine **Thorax-Röntgenkontrolle** im Stehen durchgeführt und die Drainage danach wenn möglich entfernt.



■ **Abb. 14.12** Navigationsgestützte Hinterkantenresektion bei neurologischen Ausfällen. Das Endoskopiebild zeigt die Dura nach Resektion des Fragments



■ **Abb. 14.13** Monosegmentale ventrale Stabilisierung mit expandierbarem Cage nach B1.2-Verletzung von T10. Die unteren Bilder zeigen die unveränderte Stellung 1 Jahr nach Entfernung des dorsalen Fixateur interne. Die ventrale Spondylodese durch lateral angelagerte Spongiosa aus der partiellen Wirbelkörperresektion ist erfolgt (Pfeile)

Chirurgie der verletzten Wirbelsäule
Frakturen, Instabilitäten, Deformitäten
Bühren, V.; Josten, C. (Hrsg.)
2013, XX, 442 S., Hardcover
ISBN: 978-3-642-02207-4