

Wiederherstellung der sagittalen Balance bei der Versorgung thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen

Die posttraumatische Kyphose (PTK) ist trotz moderner Behandlungstechniken ein fachübergreifendes Thema in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Es existieren keine einheitlichen Therapiekonzepte und so führen eine unterschätzte Frakturinstabilität, eine fehlgeleitete Therapie oder schicksalhafte Verläufe zur PTK. Durch diese kann es über die lokale Kyphosierung zur Fehlstellung benachbarter Segmente und damit zu Veränderungen der gesamten Wirbelsäulenstatik kommen. Das Verständnis dieser Kompensationsmechanismen ist für die Therapie von großer Bedeutung, da eine bestehende sagittale Imbalance mit schlechten klinischen Ergebnissen einhergeht. Dieser Artikel bietet einen Überblick über die speziellen Charakteristika der posttraumatischen Kyphose unter besonderer Berücksichtigung der sagittalen Wirbelsäulenbalance.

Posttraumatische Kyphose

Die posttraumatische Kyphose (PTK) ist definiert als persistierende sagittale Formabweichung eines Wirbelsäulenabschnitts vom physiologischen Wirbelsäulenprofil, hervorgerufen durch ein adäquates Trauma oder im Rahmen pathologischer Frakturen. Der intervertebrale Winkel gibt hierbei nur das Ausmaß der Kyphosierung des betroffenen Wirbels an, der segmentale Winkel die Kyphosierung des betroffenen Segments (Messung von Grund- zu Grundplatte) und die Messung von Deck- zu Deck-

platte der beiden angrenzenden Wirbelkörper gemessen gibt den regionalen Kyphosewinkel an. Nur die Kyphosierung des frakturierten Wirbelkörpers zu betrachten, ist ungenügend für die Beurteilung und Therapie der PTK, da diese weitreichende Folgen auch für die Nachbarsegmente hat [1]. Da die physiologische Form der Wirbelsäule beträchtlichen individuellen Schwankungen unterliegt und auch altersabhängig deutlich variiert, ist eine strikte Grenzziehung wenig sinnvoll [2]. Als Anhaltspunkt und Hilfestellung für den orthopädisch-unfallchirurgischen Alltag dienen folgende Referenzwerte der Scoliosis Research Society:

- hochthorakal (T1–5): $\geq 20^\circ$,
- thorakal (T5–12): $\geq 50^\circ$,
- thorakolumbal (T10–L2): $\geq 20^\circ$ und
- lumbal (T12–S1): $\leq -40^\circ$. Allgemein gilt: je ausgeprägter die Verletzung, umso größer ist das Risiko einer Kyphosierung.

Bei einer lokalen Kyphose von über 20° ist jedoch von einer Verletzung auch der dorsalen Säule und somit von einem erhöhten Risiko der Entstehung einer posttraumatischen Kyphose auszugehen. Die zunehmende Kyphosierung entsteht durch den Kollaps des frakturierten Wirbelkörpers sowie der kranial angrenzenden Bandscheibe, wobei das Ausmaß der initialen Zerstörung des Wirbelkörpers das Ausmaß des segmentalen Kollaps bestimmt [3]. Eine multinationale Auswertung ergab jedoch keine Übereinstimmung darüber, welches Kyphoseausmaß zur signifikanten posttraumatischen Deformität

führt [4]. Ätiologisch können 4 Gruppen unterteilt werden:

- PTK als akute Form im Sinne einer Frakturinstabilität,
- chronisch-strukturelle Form,
- pathologische Form und
- iatrogene PTK als Folge einer bereits durchgeführten Operation.

Die akute Form kann die Folge einer übersehenen Fraktur, einer falsch indizierten konservativen Behandlung oder die Komplikation einer richtig indizierten konservativen Therapie sein. Die Ursachen der postoperativen PTK sind vielfältig. Zunächst kann sie als Komplikation die Folge eines schicksalhaften Verlaufs einer korrekt durchgeführten operativen Therapie sein. Der überwiegende Teil der iatrogenen posttraumatischen Kyphosen hat jedoch die Ursache in einer nichtadäquaten operativen Therapie. Die Unterschätzung des knöchernen Defekts und der Zerstörung der Bandscheibe verleitet zur mangelhaften dorsalen Stabilisation und unterbliebenen oder insuffizienten ventralen Abstützung, was zu Pseudarthrosen und Implantatversagen und somit zu Kyphosierungen führen kann. Die Missachtung benachbarter Pathologien mit zu kurzer Fusion und die fehlende Wiederherstellung des sagittalen Profils potenzieren diese lokale Problematik und führen zu Beschwerden im Bereich der gesamten Wirbelsäule. Ab einem Zeitraum zwischen Verletzung und Diagnose von 6 Monaten ist dann von einer strukturellen Fehlstellung des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts auszugehen und man

spricht von einer späten posttraumatischen Deformität [2, 5].

Statik und spinale Balance

Eine allgemeine Übersicht zur Bedeutung des sagittalen und spinopelvinen Profils findet sich im Artikel von Wiedenhöfer in diesem Heft. Im Rahmen des vorliegenden Artikels soll im Wesentlichen auf die Bedeutung des sagittalen Profils hinsichtlich der Therapie der PTK eingegangen werden. Lange wurde die Wiederherstellung der sagittalen spinalen Balance als Grundlage der optimalen Frakturversorgung verkannt. Sowohl bei der primären konservativen, primären operativen und der Revisionschirurgie sollte jedoch ein physiologisches sagittales Profil eines der Behandlungsziele sein. Anderenfalls können neben der lokalen Gibbusbildung und mechanischen Instabilität des verletzten Wirbelsäulensegments Fehlstellungen in den Nachbarsegmenten [6] zur Entstehung eines chronischen Schmerzsyndroms führen. Jüngere Menschen haben aufgrund der besser beweglichen benachbarten Wirbelsäulenabschnitte bessere Kompensationsmöglichkeiten, wogegen fehlende Kompensationsmechanismen zur sagittalen Imbalance und ventralen Lotabweichung führen können (■ **Abb. 6**). So lässt bei weniger muskelstarken Patienten etwa im höheren Lebensalter die Kompensation über den Lauf der Jahre schrittweise nach und die kyphotische Deformität nimmt zu. Diese allgemeinen Veränderungen hat Böhler [7] bereits vor über 80 Jahren beschrieben. Auch ist das Ausmaß der Anpassungsvorgänge abhängig von der Lokalisation der verletzten Segmente. Je kaudaler sich die Kyphose befindet, desto größer sind die Auswirkungen auf die sagittale Balance und umso schwieriger die Kompensation. So können etwa thorakale Kyphosen besser kompensiert werden als tief-lumbale. Die Beschwerden treten oft erst viele Jahre nach Bestehen der Deformität auf. Somit ist auch die Literatur hinsichtlich dieses langen Verlaufs einzuordnen, da meist nur 2-Jahres-Verläufe angegeben werden und eine Dekompensation der Fehlstatik erst zu einem späteren Zeitpunkt relevant wird [8, 9].

Zusammenfassung · Abstract

Orthopäde 2011 · 40:690–702 DOI 10.1007/s00132-011-1796-4
© Springer-Verlag 2011

A. Hempfing · J. Zenner · L. Ferraris · O. Meier · H. Koller

Wiederherstellung der sagittalen Balance bei der Versorgung thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen

Zusammenfassung

Die posttraumatische Kyphose (PTK) kann die Folge einer übersehenen Fraktur, einer falsch indizierten konservativen Behandlung oder einer falsch durchgeführten operativen Therapie sein. Ebenso tritt sie als schicksalhafter Verlauf einer adäquat durchgeführten Behandlung auf. Der Vermeidung der PTK kommt eine große Bedeutung zu, da die nachfolgenden operativen Eingriffe aufwendig sind. In der operativen Therapie sind eine sorgfältige Planung und eine große chirurgische Erfahrung mit ventralen und dorsalen Revisionseingriffen notwendig. Auch müssen die verschiedenen Osteotomietechniken beherrscht werden, welche die Korrektur so-

wohl der lokalen als auch globalen Deformität ermöglichen. Auch Kenntnisse der sagittalen und der spinopelvinen Balance sind unabdingbar bei der Behandlung der PTK. Die eigenen Erfahrungen als auch die Literaturergebnisse zeigen, dass nur bei Beachtung sowohl der biomechanischen Gesetzmäßigkeiten als auch bei Wiederherstellung der sagittalen Balance gute Langzeitergebnisse bei geringen Komplikationen erzielt werden können.

Schlüsselwörter

Kyphose · Posttraumatisch · Sagittales Profil · Korrekturspondylothese · Osteotomie

Restoration of sagittal balance in treatment of thoracic and lumbar vertebral fractures

Abstract

Posttraumatic kyphosis (PTK) is a possible consequence of a missed fracture, a wrong indication for conservative therapy or an inadequate surgical technique but PTK can also be a complication after adequate surgery. Avoidance of PTK is of importance because subsequent surgical therapy can be extensive. A thorough planning as well as surgical experience with anterior and posterior revision cases is necessary. The various types of osteotomy which allow correction of local as well as global deformities should also

be mastered. Knowledge of the principles of sagittal balance and spinopelvic parameters are indispensable in the treatment of PTK. Our experience and results from the literature show that a good long-term outcome with limited complications can only be achieved when considering the biomechanical principles as well as restoration of sagittal balance.

Keywords

Kyphosis · Posttraumatic · Sagittal profile · Correction spondylodesis · Osteotomy

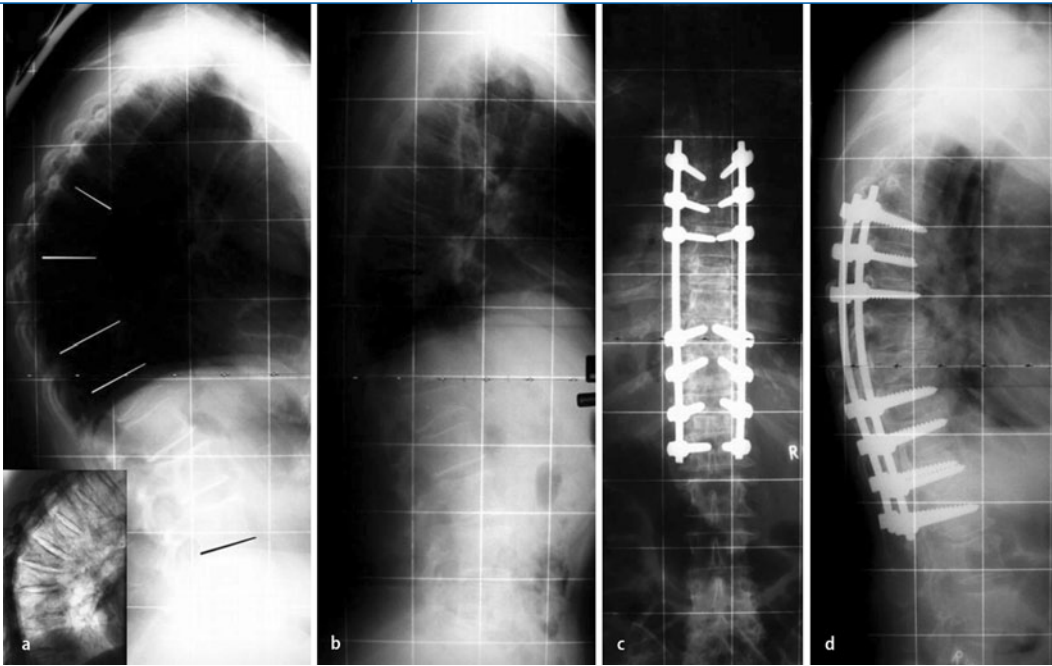


Abb. 1 ◀ 69-jährige Patientin mit multisegmentalen osteoporotischen Kompressionsfrakturen (a). Die Extensionsaufnahme zeigt noch eine Flexibilität (b), somit Zustand nach multisegmentaler Smith-Petersen-Osteotomie (SPO) mit Wiederherstellung des sagittalen Profils (c, d)

Die Anpassungen des Körpers an eine posttraumatische Kyphose erfolgen über die benachbarten Segmente, die angrenzenden Wirbelsäulenkrümmungen und die spinopelvinen Parameter (▣ **Abb. 7**). Im Normalfall einer thorakolumbalen Kyphose werden diese Kompensationsmechanismen durch eine Inkliniation des Beckens (Zunahme des „sacral slope“ [SS]), Steigerung der segmentalen Lordose und Abflachung der thorakalen Kyphose [9] eingeleitet, mit dem Ziel, den Rumpf über den Hüftgelenken zu halten. Diese kompensatorischen Änderungen sind jedoch nur in dem Rahmen möglich, der einerseits durch die individuelle „pelvic incidence“ (PI) vorgegeben ist und andererseits durch die Flexibilität der benachbarten Segmente der Brust- und Lendenwirbelsäule. Bei fehlenden Kompensationsmöglichkeiten wie etwa bei degenerativen Veränderungen führt die Kyphosierung zur Verlagerung des Körperschwerpunkts nach ventral. Das einwirkende Flexionsmoment steigt und durch Retroversion des Beckens (Abnahme des SS, Zunahme des „pelvic tilt“ [PT]) wird versucht, die Wirbelsäule wieder ins Lot zu bringen. Diese statisch ungünstige Situation mit Überstreckung der Hüftgelenke kostet viel Muskelkraft, bereitet Schmerzen und führt zu forcierten Degeneration der benachbarten Segmente. Sind diese Kompensationsmöglichkei-

ten bei progredienter Kyphosierung ausgereizt, entwickelt sich eine dekompenzierte sagittale Imbalance mit ventralem Rumpfüberhang.

Schmerzursache

Unter Dauerbelastung der Fehlstellung einer posttraumatischen Kyphose mit stärkerer Zugbelastung der dorsalen und Druckbelastung der ventralen Elemente ermüdet die autochthone Rückenmuskulatur. Die Folgen sind neben fokalen Beschwerden auf Höhe der Fehlstellung Beschwerden auch im Muskelansatzbereich [10]. Lumbosakral werden diese Symptome wegen ihres temporären Ansprechens auf Infiltrationsbehandlungen dann oft irrtümlich den sakroiliakalen Gelenken zugeschrieben. Auch kommt es durch die Fehlstellung der Nachbarsegmente und die unphysiologische Lastverteilung zur erhöhten Belastung ligamentärer, vertebraer und myogener Strukturen [1, 11] mit der möglichen Folge einer degenerativen Anschlussinstabilität, deren Häufigkeit etwa 36% beträgt [12]. Erhöhter Muskeleinsatz ist zur Anpassung nötig, sodass junge Menschen eine bessere Voraussetzung zur Kompensation der lokalen Fehlstellung über die Lordosierung von Anschlusssegmenten und eine vermehrte Beckenkipfung haben. Sind diese Kompensationsmechanismen erfolgreich, können nach Frakturkonsolidie-

rung lange asymptomatische Intervalle entstehen.

— Bei bereits bestehenden Beschwerden leistet eine verzögert einsetzende Therapie der Entstehung eines chronischen Schmerzsyndroms Vorschub.

Auch nach erfolgter operativer Therapie kann es zu einer schmerzhaften posttraumatischen Kyphose kommen, deren Ursache vielfältig ist. Zum einen kann die Fraktur in Fehlstellung verheilt bzw. fusioniert sein, sodass die posttraumatische Fehlstellung zu den oben genannten Beschwerden führt. Die Ursache kann aber auch in einer fehlenden Frakturheilung, einer Pseudarthrose und einem damit verbundenen Implantatversagen liegen. Schmerzursächlich können aber auch die unfallbedingte knöchernen Stenose oder bei der posttraumatischen Kyphose eine entweder residuelle oder sekundäre knöchernen Stenose sein. Bei bestehender Progredienz der Kyphose wird das Myelon über den Kyphosescheitel gespannt und kann zur posttraumatischen Syringomyelie (▣ **Abb. 4**), zum „tethered cord“ oder auch zur Radikulopathie führen [2, 5, 8, 13]. So zeigte sich bei gelähmten Patienten mit mehr als 15° Kyphose und/oder mehr als 25% Spinalkanalstenose ein 2-fach höheres Risiko einer Syringomyelieentstehung [14].

Hier steht eine Anzeige.



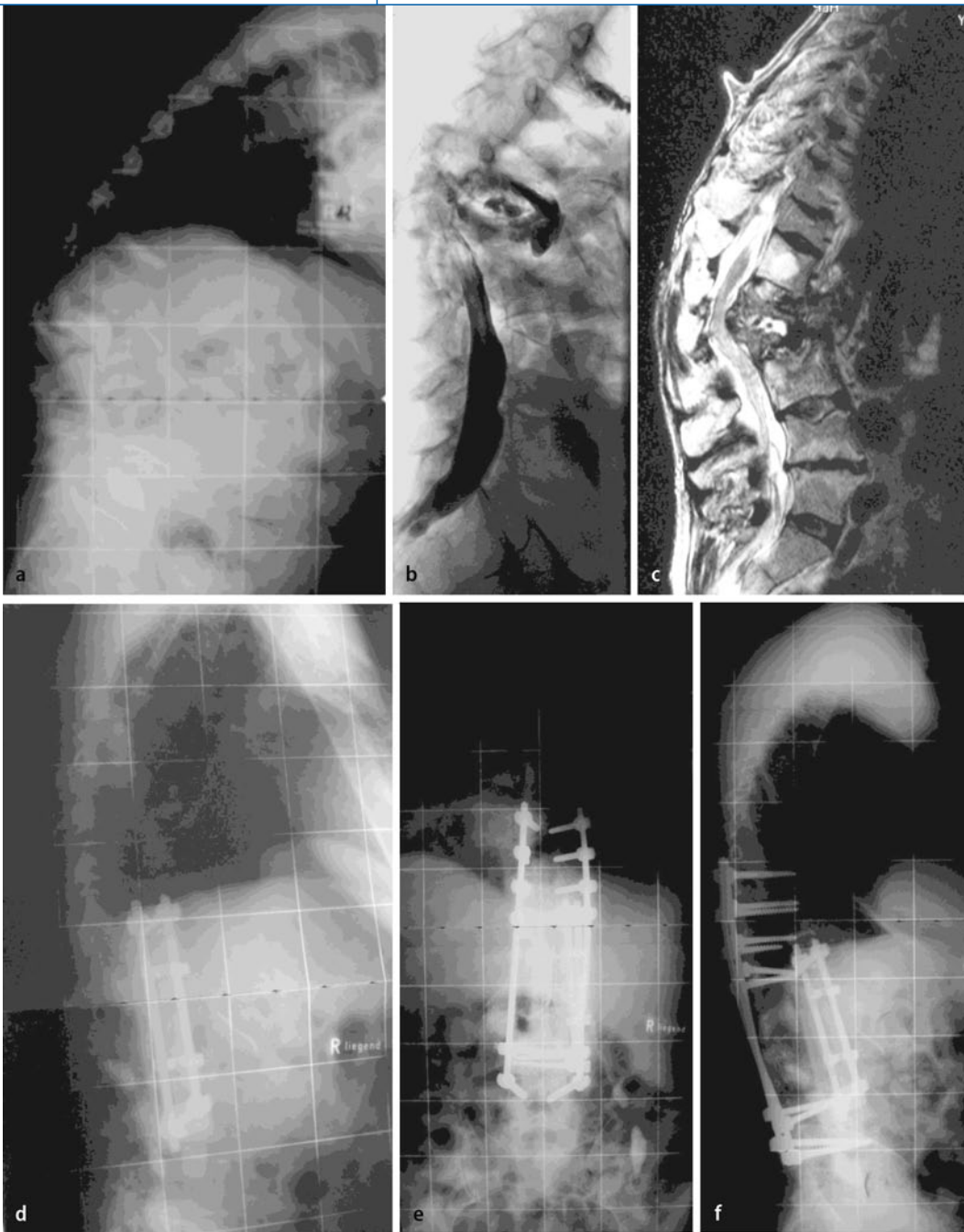


Abb. 2 ◀ 60-jähriger Patient mit Morbus Parkinson, Zustand nach mehrfachen Stürzen und ein Jahr nach multiplen Vertebroplastien, keine neurologischen Defizite. MRT- und Myelographiebefunde: destruierte und kyphosierte LWK1 und 2 sowie multiple Zementextrusionen (**b, c**) Seitlich zeigt sich auch in der HALO-Extensionsaufnahme eine deutliche ventrale Lotabweichung (**a**). Nach ventralem Release und Korpektomien bereits deutliche Aufrichtung der Kyphose (**d**), abschließendes Ergebnis mit physiologischem sagittalem Profil (**e, f**)

Nach bis zu 30 Jahren entwickeln etwa 25% der Patienten mit initialem Trauma des Myelons eine posttraumatische Syringomyelie, symptomatisch wird davon jedoch nur ein geringerer Teil [15].

Bildgebung

Die Ursachen der Schmerzen sind vielfältig, insofern ist eine umfangreiche diagnostische Abklärung notwendig. Wirbelsäulenganzaufnahmen im Stehen dienen sowohl dem Erfassen des verletzten Wirbelsäulensegments als auch der globalen

Statik unter axialer Belastung. In der seitlichen Aufnahme müssen die Hüftgelenke mit abgebildet sein, um die spinopelvinen Parameter erfassen zu können. Zur Beurteilung der Rigidität einer posttraumatischen Kyphose und der Flexibilität benachbarter Segmente werden Funktionsaufnahmen angefertigt (Reklination, Inklination, Überstreckungsaufnahmen im Liegen über ein Hypomochlion, Extensionsaufnahmen). Die Beurteilung der Kyphosenrigidität ist entscheidend, um das Ausmaß des notwendigen operativen Releases festzulegen, die Funktionsauf-

nahmen der benachbarten Segmente dienen zur Beurteilung der Kompensationsmöglichkeiten.

Ein CT des Frakturbereichs mit sagittalen und koronaren Rekonstruktionen dient der Erfassung der knöchernen Destruktion, von Stenosen als auch der Beurteilung von Verankerungsmöglichkeiten für eine operative Intervention bei komplexeren Fällen. Bei voroperierten Patienten dient es auch zur Fusionsbeurteilung. Bei einliegendem Osteosynthesematerial mit Artefaktbildung ist eine Myelographie mit einem Post-Mye-

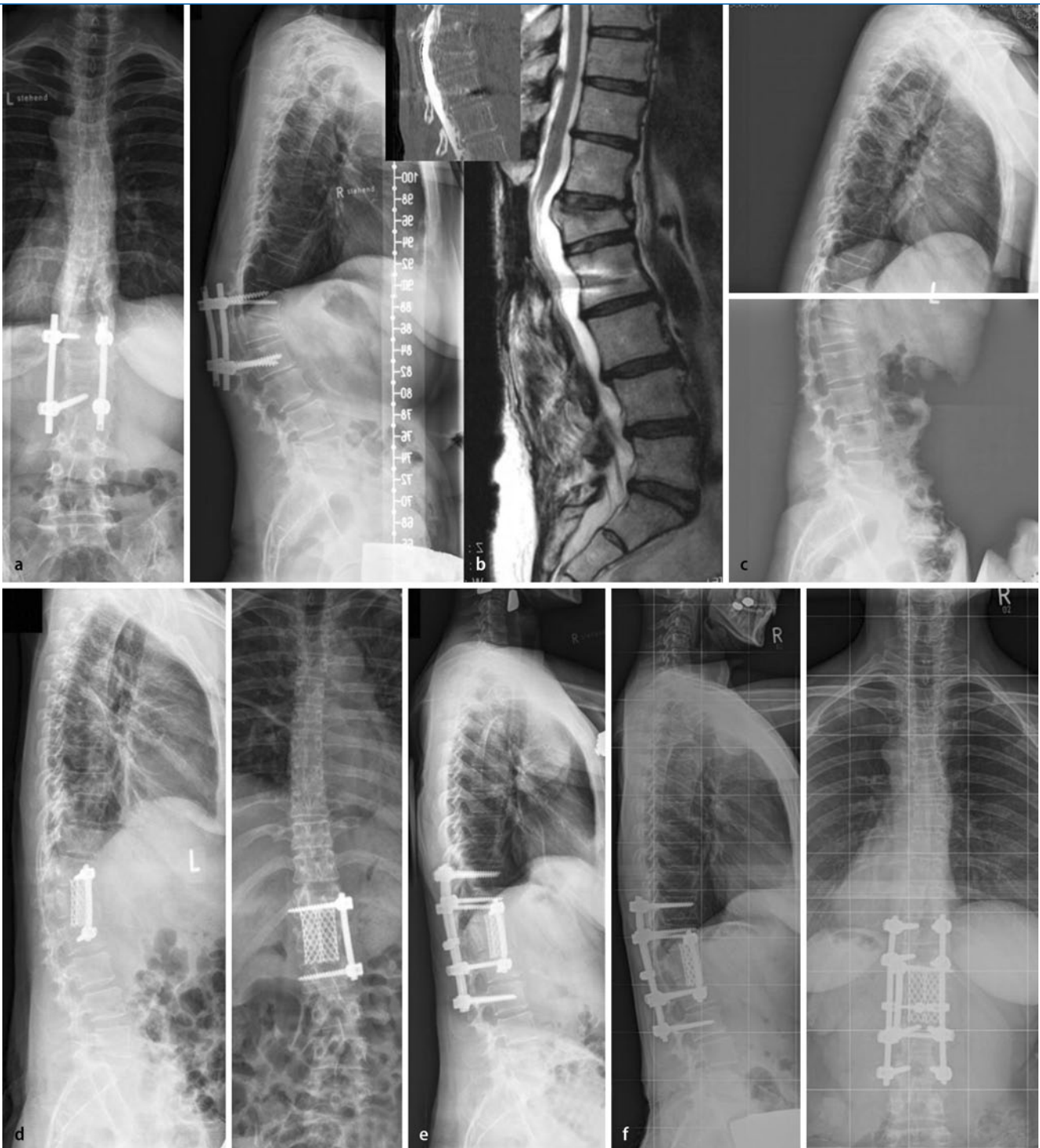


Abb. 3 ▲ 49-jährige Patientin, Zustand nach LWK1-Fraktur. Erstversorgung durch auswärtige Stabilisierung T12–L2 in Kyphose. Bei progredientem neurologischem Defizit dorsale Revision, Dekompression und Metallentfernung, ventrales Release mit Korporektomie LWK1, Relordosierung und ventraler intersomatischer Fusion mit Cage und autologem Knochen T12–L2. Nachfolgend Stabilisierung mit dorsaler transpedikulärer Fusion T11–L3

lo-CT sinnvoll. Stenosen können klarer dargestellt werden (knöcherne Fragmente im Spinalkanal) und es kann eine Implantatlagebestimmung (Schrauben- und Cagefehlage) vorgenommen werden. Ein MRT dient zur Beurteilung weicher Ste-

nosen, benachbarter degenerativer Veränderungen sowie von Signalalterationen des Myelons (Myelopathie).

Operationsindikation

Die ideale Therapie der thorakolumbalen und lumbalen Fraktur wird trotz umfangreicher Literatur noch immer kontrovers diskutiert [16, 17, 18]. Die Ziele der opera-



Abb. 4 ▲ 28-jährige Patientin, BWK5-Fraktur 9 Jahre zuvor, incomplete Querschnittslähmung. Ankylosierte posttraumatische Kyphose (a, b) mit symptomatischer zystischer Myelopathie (c). Zunehmender Blickachsenverlust im Rollstuhl. Nach Dekompression und PSO Th5 resultiert eine Korrektur der Kyphose von 55 auf 31° (d, e). PSO Pedikelsubtraktionsosteotomie

tiven Therapie der posttraumatischen Kyphose sind neben der Schmerzlinderung, der Beseitigung von Stenosen und ggf. der Verbesserung neurologischer Defizite insbesondere die Wiederherstellung der physiologischen Balance. Liegen im akuten Stadium bei Therapiebeginn eine Kyphose von $>15-20^\circ$ bzw. ein Höhenverlust von 50% vor, vertreten auch wir die Meinung, dass auch im höheren Alter operativ therapiert werden sollte [19]. Auch wenn es unter konservativer Therapie zur progredienten Kyphosierung kommt, ist ein operatives Vorgehen angezeigt.

Die häufigste Indikation zur Operation ist die Schmerzsymptomatik. Diese kann vertebrogen oder neuropathisch bedingt, aber auch bereits Ausdruck einer mangelhaften Balance und myofaszialer Überlastung sein. Die Indikation muss selbstverständlich in Abhängigkeit vom Alter und bestehenden Komorbiditäten gestellt werden. Der Leidensdruck, das individuelle Schmerzniveau und auch die Langzeitprognose müssen berücksichtigt werden. Ein aufwendiger Revisionseingriff muss gut abgewogen werden, insbesondere die Frage, mit welchem operativen Aufwand im höheren Lebensalter eine adäquate Korrektur erreicht werden kann. Insofern

kann es keine klare Operationsindikation für das Vorliegen einer bestimmten Kyphose geben. Besteht jedoch aufgrund der Schmerzen eine Operationsindikation, sollte bei der Operation auch die komplette sagittale Korrektur angestrebt werden. Auch beim Revisionseingriff gelten die gleichen Ziele wie bei der Primäroperation. Dies kann durch einen alleinigen dorsalen, alleinigen ventralen oder meist durch einen kombinierten Eingriff erreicht werden [2, 8, 10, 20, 21, 22].

Operationsplanung

Die operative Korrektur der posttraumatischen Kyphose erfordert eine sorgfältige Planung.

Folgende Fragen müssen beantwortet werden:

- Welches Ausmaß der Korrektur ist notwendig (Gradzahl)?
- Muss eine globale Imbalance korrigiert werden (langstreckige Korrektur)?
- Wie viele Fixationspunkte sind notwendig (Konstruktstärke)?
- Wie aggressiv muss dekomprimiert werden (Narben, Syrinx)?

- Welche Osteotomien sind erforderlich (Art, Anzahl, Höhe)? Die chirurgischen Grundprinzipien der Therapie einer posttraumatischen Kyphose beinhalten die Verlängerung der ventralen und/oder die Verkürzung der dorsalen Säule.

Um dies erreichen zu können, muss ein suffizientes Release mit Facettektomie, Flavektomie, Diskektomie, Osteotomie oder Korporektomie erfolgen. Darüber hinaus ist die instrumentierte Spondylodese mit dem Ziel der möglichst hohen Primärstabilität anzustreben [8]. Insbesondere bei reduzierter Knochenqualität ist auf eine ausreichende Länge und Rigidität der Instrumentation zu achten. Sicher durchführbare Korrekturen sind jedoch nur möglich, wenn knöcherne Stenosen komplett beseitigt und narbige Verwachsungen der Dura gelöst werden, um nicht bei der Korrektur ein Kneifzangenphänomen des Myelons zu erzeugen.

Wie bei allen deformitätenkorrigierenden Eingriffen stellt sich die Frage nach der exakten Planung der Korrektur und damit der Planung der Osteotomien. Liegt lediglich eine fokale Deformität bei ansonsten mobiler Wirbelsäule mit intakten Kompensationsmechanis-

men vor, muss bei der Korrektur nur der lokale Kyphosewinkel wiederhergestellt werden. Besteht jedoch eine sagittale Imbalance, wird klassischerweise das Korrekturausmaß anhand herkömmlicher Röntgenwirbelsäulenganzaufnahmen bestimmt. Direkt oberhalb des gewünschten Korrekturniveaus wird das Röntgenbild durchtrennt und so lange gedreht, bis das C7-Lot zwischen Sakrum und Hüftgelenkachse fällt. Der entsprechende Winkel zwischen den Schnittkanten ist dann der gewünschte Korrekturwinkel, wobei eine neutrale Beckenneigung einkalkuliert werden muss. Dies ist insbesondere wichtig, da die PI als feststehender morphologischer Parameter die lumbale Lordose bestimmt.

Es existieren physiologische Standardwerte der spinopelvinen Parameter [23], sodass über diese Werte die ideale Lordose der LWS in guter Annäherung errechnet werden kann. Die Kalkulation der gewünschten lumbalen Lordose kann dann zur Korrekturplanung verwendet werden [24]. Ist durch eine lokale Korrektur keine physiologische globale sagittale Balance herstellbar, muss eine längerstreckige Korrektur erfolgen. Während bei starren angulären Kyphosen ein zirkuläres Release notwendig ist (Pedikelsubtraktionsosteotomie [PSO] oder kombiniertes ventrodorsales Release), wird bei langstre-

ckiger und gleichmäßiger Kyphosierung eher ein rein dorsales Verfahren mit multisegmentalen Osteotomien indiziert sein (■ **Abb. 1**).

Zu beachten ist auch, dass je weiter kaudal eine Korrektur durchgeführt wird, die Auswirkung auf die Gesamtbalance der Wirbelsäule umso stärker ist. Auch muss eine postoperative Veränderung der Beckenneigung in Betracht gezogen werden, um eine Unterkorrektur zu vermeiden. Ebenfalls ist es wichtig, zwischen der notwendigen Stabilität (und damit der Länge einer Instrumentation) und dem Erhalt intakter Segmente abzuwägen, v. a. bei jüngeren Patienten.

Die Wahl des Zugangs hängt von bereits eingebrachtem Osteosynthesematerial, fusionierten Elementen sowie der Kompression neurologischer Strukturen ab. Bei bereits einliegender Osteosynthese muss oft von dorsal begonnen werden (■ **Abb. 3**), es gibt jedoch mögliche Ausnahmen etwa bei Implantatbruch und erhaltener Flexibilität bei Pseudarthrose. Auch bei nicht voroperierten Patienten kann ventrodorsal nur vorgegangen werden, sofern die dorsale Mobilität erhalten und der Spinalkanal frei oder freizuräumen ist (■ **Abb. 5**). Bei unseren Patienten kommen am häufigsten ventrodorsale und dorsoventrale Verfahren zum Einsatz. Häufig muss jedoch auch

dorsoventrodorsal vorgegangen werden (■ **Abb. 3**). Hier erfolgen zunächst das Entfernen der Osteosynthese sowie die komplette Dekompression mit Lösen der periduralen Narben, anschließend das ventrale Release mit evtl. notwendiger Komplettierung der Dekompression und abschließend die stabile dorsale Instrumentation mit evtl. notwendiger Restkorrektur.

Meist werden die nachfolgend genannten Operationsverfahren kombiniert, um komplexen Revisionsfällen gerecht zu werden. In solchen Fällen ist eine strenge Schematisierung des Behandlungsverlaufs und der operativen Entscheidungswege daher nicht sinnvoll. Ein Algorithmus, der der Orientierung dient, findet sich bei Koller et al. [25].

Eine HALO-Traktion wird bei der PTK nur in seltenen Fällen angewendet. Liegt jedoch eine rigide Krümmung mit ausgeprägter sagittaler Imbalance in Kombination mit einer spinalen Enge oder Myelopathie vor, sollte präoperativ über einen am Schädel angreifenden HALO-Ring extendiert werden (■ **Abb. 2**). Unter Zug an muskuloligamentären Strukturen, Kapseln und Diskus wird eine Aufdehnung starrer Segmente mit dem Ziel vorgenommen, präoperativ eine moderate Kyphosekorrektur zu erreichen. Dies gelingt bei moderat-rigiden Krümmungen in der

Hier steht eine Anzeige.

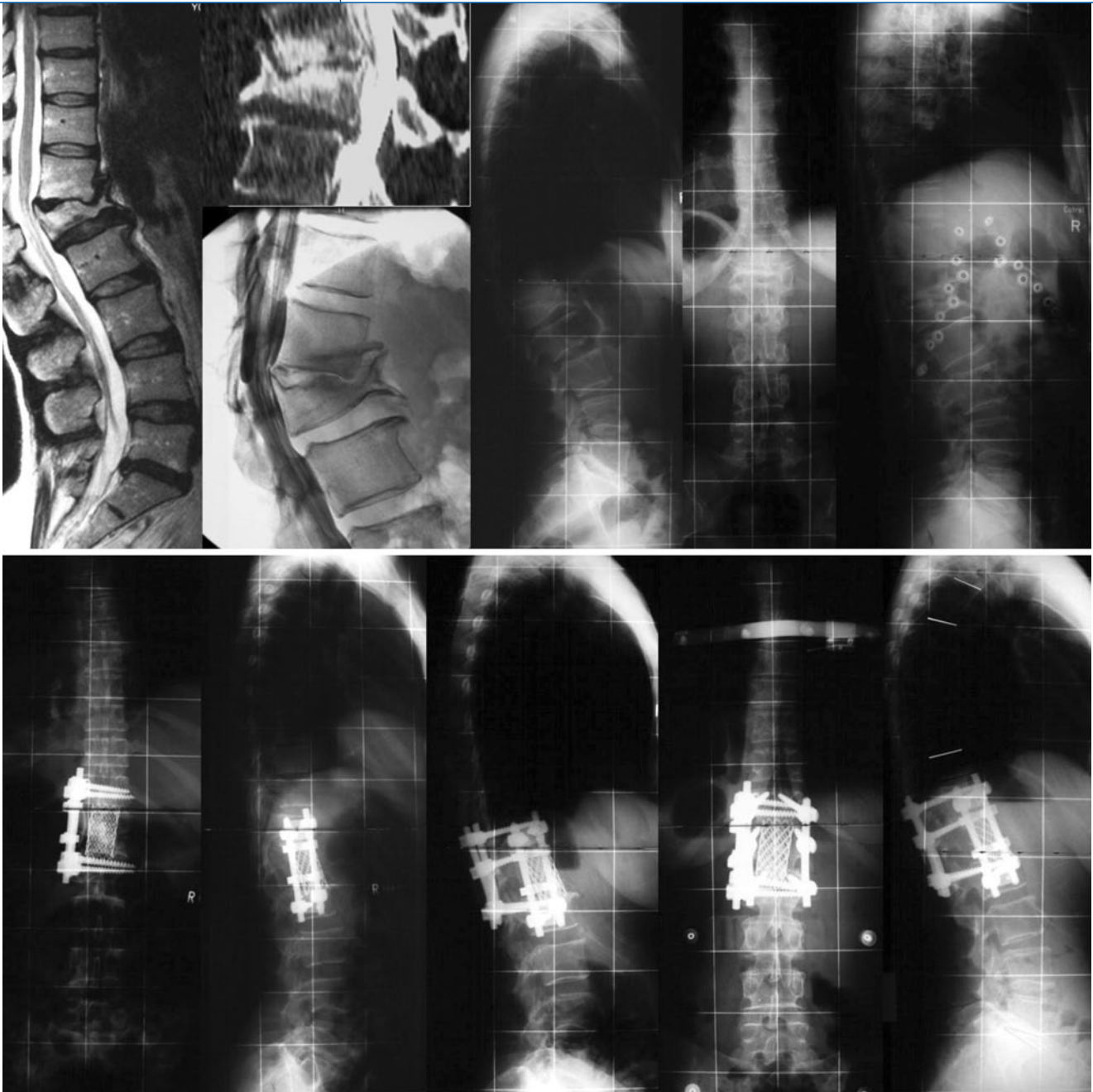


Abb. 5 ▲ Posttraumatische Kyphose nach konservativer Therapie eines L1-Bruchs vor 30 Jahren, progrediente Gibbusbildung. Procedere: Ventrales Release mit Dekompression durch Korporektomie L1, Defektrekonstruktion, Lordosierung und Cagespondylodese sowie ventrales Doppelstabsystem T12–L2. Zweizeitig dorsale Facetectomien, instrumentierte Spondylodese unter leichter Kompression. Postoperativ anatomisch rekonstruierter thorakolumbalen Übergang und physiologische sagittale Balance

Regel gut. Es erfolgt eine schrittweise Zunahme des Gewichts unter neurologischer und radiologischer Kontrolle über einen Zeitraum von 1 bis 3 Wochen.

Ventrale Verfahren

Die ventrale Korrekturspondylodese verbindet die Releasetechnik mit der instrumentierten Fusion. Ein rein vent-

rales Verfahren kommt bei der PTK jedoch eher selten zur Anwendung. Dies ist nur möglich bei einer geringer ausgeprägten Kyphosierung, einer erhaltenen Flexibilität der dorsalen Wirbelsäule und beim Fehlen einer dorsalen spinalen Enge. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist dieses Verfahren unter Verwendung einer Cagefusion in Kombination mit einer ventralen Instrumenta-

tion möglich. Jedoch ist das Korrekturpotenzial des alleinigen ventralen Verfahrens begrenzt im Vergleich zu den dorsalen oder kombinierten ventrodorsalen Verfahren. Auch ist zwar eine Distraction von ventral möglich, eine wirkliche Lordosierung aber schwierig [26]. In allen anderen Fällen findet die Operation kombiniert statt, dann als ventrales Release und Fusion oder als alleinige

Fusion/Abstützung nach erfolgter dorsaler Korrektur. Das ventrale Release mittels Thorakotomie, Lumbotomie oder Thorakophrenolumbotomie dient zur Lockerung der ventralen Wirbelanteile über die Entfernung von Bandscheiben bis hin zu kompletten Korporektomien, um eine nachfolgende dorsale Kyphosekorrektur zu ermöglichen. Zusätzlich ist es dadurch möglich, ventrale Stenosekomponenten zu beseitigen oder ventral einliegendes Osteosynthesematerial zu entfernen.

Über den gleichen Zugangsweg führt die ventrale intersomatische Fusion durch das Einbringen eines Knochenblocks oder Titanium-Mesh-Cages zur zusätzlichen Stabilisierung einer vorangegangenen dorsalen Korrekturspondylodese. Auch kann der Cage als Wirbelkörperersatz verwendet werden (evtl. distrahierbar). Viele dieser ventralen Techniken können auch minimalinvasiv durchgeführt werden, wobei objektivierbare Unterschiede hinsichtlich der Zugangsmorbidität zwischen offenem und gering invasivem Verfahren entsprechend aktuelleren Arbeiten [27] nicht zu bestehen scheinen. Auf die unterschiedlichen Techniken soll in diesem Rahmen nicht eingegangen werden, denn der Zugang ist nicht die Therapie. Es kommt auf eine adäquate Operationstechnik am Ort der Pathologie an und somit auf ein suffizientes Release, eine komplette ventrale Dekompression, eine maximale ventrale Defektrekonstruktion und Stabilisierung sowie eine gute knöcherne (biologische) Fusion.

Dorsale Verfahren

Die rein dorsale Technik kommt lediglich bei multisegmentaler Pathologie unter Verwendung einer längerstreckigen Instrumentation in Betracht (Abb. 1). Kurzstreckige rein dorsale Verfahren führten zu einer hohen Rate an Implantatversagen und Korrekturverlusten [28]. So ist der Standard eine starre segmentale Pedikelschraubeninstrumentation in Kombination mit einer ventralen Abstützung. Die Möglichkeiten der stabilen dorsalen Verankerung wie etwa die Verwendung möglichst dicker und langer Schrauben, der bikortikalen Verankerung (S₁), die Verwendung

Abb. 6 ▶ Links Aufgrund der moderaten posttraumatischen Kyphose L1–2 kompensatorische Extension in den Nachbarsegmenten kranial und kaudal mit thorakaler Hypokyphose, das Lot fällt hinter die Hüftgelenkachse, es besteht eine kompensierte Situation. Rechts 5 Jahre nach Fraktur T12–L1 Anpassung ausschließlich kaudal, Kompensation aufgrund der Degeneration der BWS nicht möglich. C7-Lot fällt ventral der Hüftgelenkachse, typische Beschwerden thorakolumbal bei sagittaler Imbalance. (Mod. nach [25], mit frdl. Genehmigung von Dr. H. Koller)

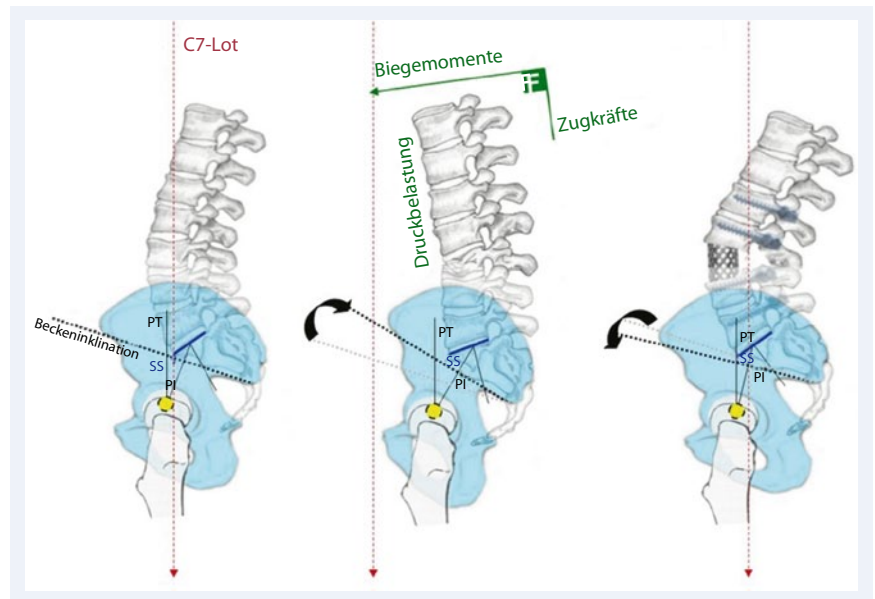
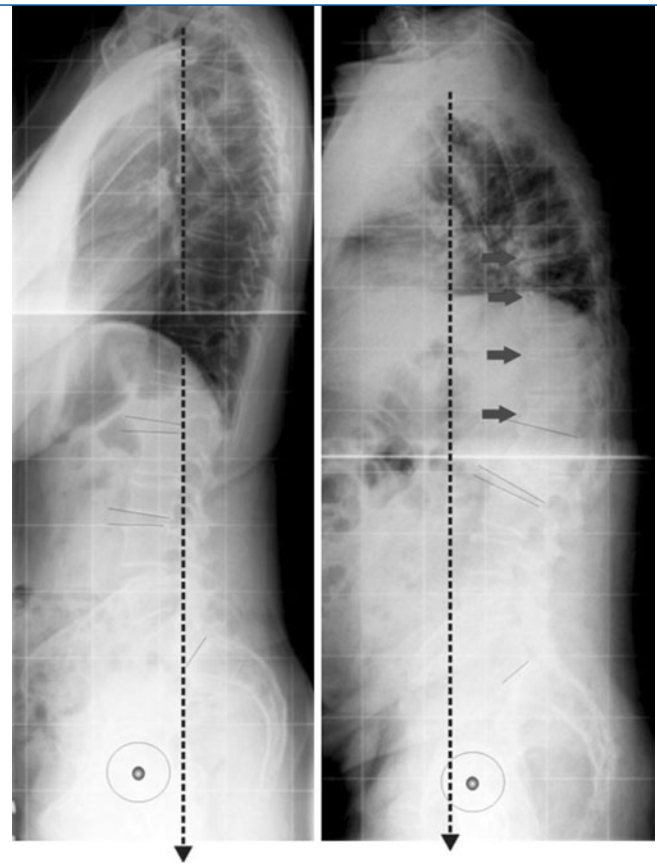


Abb. 7 ▶ Anpassung der spinopelvinen Parameter an die posttraumatische Kyphose. **a** Physiologische Situation, **b** posttraumatische Kyphose bei LWK3. Es kommt zur Verlagerung des Schwerpunkts nach ventral. Durch Retroversion des Beckens wird versucht, die Wirbelsäule wieder ins sagittale Lot zu bringen. Mit Lot ventral der Hüftgelenkachse besteht jedoch eine dekompenzierte Imbalance. **c** Nach operativer Korrektur wiederhergestellte spinopelvine Balance. PT „pelvic tilt“, SS „sacral slope“, PI „pelvic incidence“. (Mod. nach [25], mit frdl. Genehmigung von Dr. H. Koller)

von Querverbindern und auch zementaugmentierter Schrauben sollte hierbei genutzt werden. Wenn bei erhaltenem Pedikel möglich, sollte auch eine

kurze Intermediärschraube in den frakturierten bzw. kyphosierten Wirbelkörper eingebracht werden, um die Stabilität zu erhöhen. Nach Instrumentation

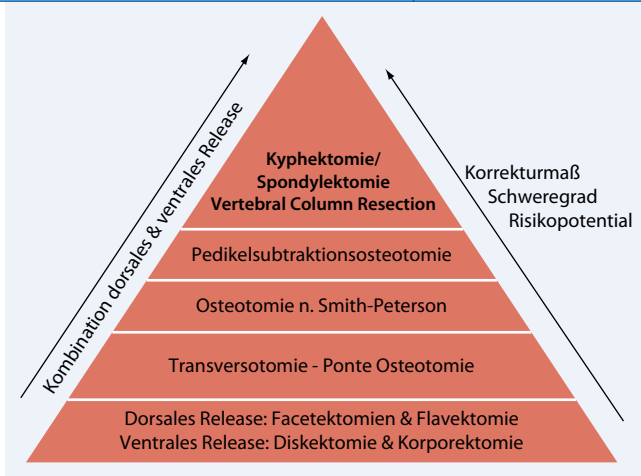


Abb. 8 ◀ Schema der Osteotomietechniken in Abhängigkeit vom steigenden Korrekturmaß und Schweregrad der Osteotomie sowie dessen Risikopotenzial

erfolgt dann die Fusion mit Dekortikation der dorsalen Strukturen und Anlagerung von auto-, bzw. homologem Knochen oder Knochenersatzmaterialien.

► Die dorsale Technik wird nur bei multisegmentaler Pathologie unter Verwendung einer längerstreckigen Instrumentation eingesetzt

Der instrumentierten Korrekturspondylodese geht das dorsale Release voraus, wobei das Ausmaß der gewünschten Korrektur die Technik des dorsalen Releases bestimmt. Sind nur geringe segmentale Korrekturen nötig, sind oft multisegmentale Facettektomien ausreichend. Die Korrekturergebnisse betragen dabei 2° bis maximal 5°/Segment. Dann kann der Stab in der gewünschten Kyphose bzw. Lordose vorgebogen, der Stab eingebracht und so die gewünschte Korrektur erreicht werden. Dabei ist auf eine ausreichende Dekompression zu achten, um eine Stenose im Rahmen der Korrektur zu verhindern.

Sind größere Korrekturen nötig, um das sagittale Profil wiederherzustellen, kommen Osteotomien zum Einsatz (▣ **Abb. 8, 9**). Auf den geschichtlichen Hintergrund der verschiedenen Osteotomien soll hier ebenso verzichtet werden wie auf eine detaillierte Beschreibung der Techniken. Auch sind die Übergänge zwischen den einzelnen beschriebenen Techniken der Osteotomien naturgemäß fließend.

Ponte-Osteotomie. Die Osteotomie nach Ponte besteht in der partiellen Re-

sektion der oberen und unteren Facettengelenke, der vollständigen interlaminaären Weichteilresektion sowie dem Unterschneiden („undercutting“) der benachbarten Laminae. Es resultieren thorakal eine nahezu quer und lumbal eine V-förmig verlaufende Osteotomie. Anschließend wird über das Schrauben-Stab-System eine reine Kompression und Verkürzung der dorsalen Strukturen herbeigeführt. Es ergibt sich eine Korrektur von etwa 1° pro 1 mm reseziertem Knochen (maximal 5°/Segment).

Smith-Peterson-Osteotomie. Die Smith-Peterson-Osteotomie (SPO) wurde 1945 erstmals beschrieben. Es wird wie bei der Ponte-Osteotomie eine V-förmige interlaminaäre segmentale Resektion aufsteigend in Richtung der Neuroforamina vorgenommen. Über ein Anheben des Oberkörpers und eine dorsale Kompression mit Verschluss der Osteotomie über das Schrauben-Stab-System kommt es im Unterschied zur Ponte-Osteotomie auch zu einem leichten ventralen Aufspreizen (bei vorhandener ventraler Mobilität). So sind Korrekturen von ca. 8–12°/Segment möglich. Insbesondere bei langstreckigen arkuären Kyphosen erfolgt der multisegmentale Einsatz derartiger Osteotomien. Durch den Summationseffekt können so Korrekturen von bis zu 40° erreicht werden.

Pedikelsubtraktionsosteotomie. Die Pedikelsubtraktionsosteotomie (PSO) und ihre Varianten kommen bei ausgeprägten und angulären Kyphosen ab etwa 20° zur Anwendung. Die Varianten unterscheiden sich jeweils im Ausmaß der Kno-

chenresektion [29]. Es erfolgt die Entnahme eines Knochenkeils aus dorsalen Elementen und Wirbelkörper. Lamina und Pedikel werden beidseits entfernt, ggf. auch die bestehende dorsale Spondylodese bei einem Revisionseingriff. Dann folgen unter Kontrolle der lateralen Wirbelkörperwand die mediolaterale intrakorporale Knochenresektion inklusive der Hinterkante des Wirbelkörpers und anschließend die laterale Kortikalisresektion bis zum vorderen Wirbelkörperdrittel. Eine asymmetrisch durchgeführte Resektion und Kompression ermöglicht zusätzlich die Korrektur einer skoliothischen Komponente. Auch können bei dieser Osteotomie gut mögliche Vernarbungen der Dura gelöst werden. Nach einer Osteotomie ist auf einen kontrollierten, langsamen Osteotomieverschluss zu achten, um eine akute translatorische Instabilität in der anteroposterioren Ebene mit der Gefahr neurologischer Schäden zu vermeiden. Korrekturen von 20–40° können so in einem Segment erzielt werden (▣ **Abb. 4**).

„Vertebral column resection“. Die „vertebral column resection“ (VCR), also die komplette Entfernung des Wirbels, bleibt aufgrund der iatrogen verursachten Instabilität und dem erhöhten neurologischen Risiko Sonderfällen der PTK vorbehalten. Sie kann ventrodorsal oder auch als einzelzeitiges rein dorsales Verfahren durchgeführt werden.

Zusammenfassung

Allgemein lässt sich sagen, dass die multisegmentale Ponte- oder auch Smith-Peterson-Osteotomie die Therapie der Wahl bei längerstreckiger Kyphosierung etwa nach mehrsegmentalem Trauma ist. Sie führt zur Wiederherstellung eines harmonischen sagittalen Wirbelsäulenprofils bei geringem neurologischem Risiko. Die PSO hingegen ist die Therapie der Wahl bei kurzstreckigen Kyphosen. Zu einem physiologischen sagittalen Profil kann diese jedoch nur bei erhaltenen Kompensationsmechanismen bzw. erhaltener Flexibilität der benachbarten Segmente führen. Anderenfalls müssen die verschiedenen Osteotomieformen kombiniert und zusätzliche PSO- oder Ponte-Osteotomien durchgeführt werden.

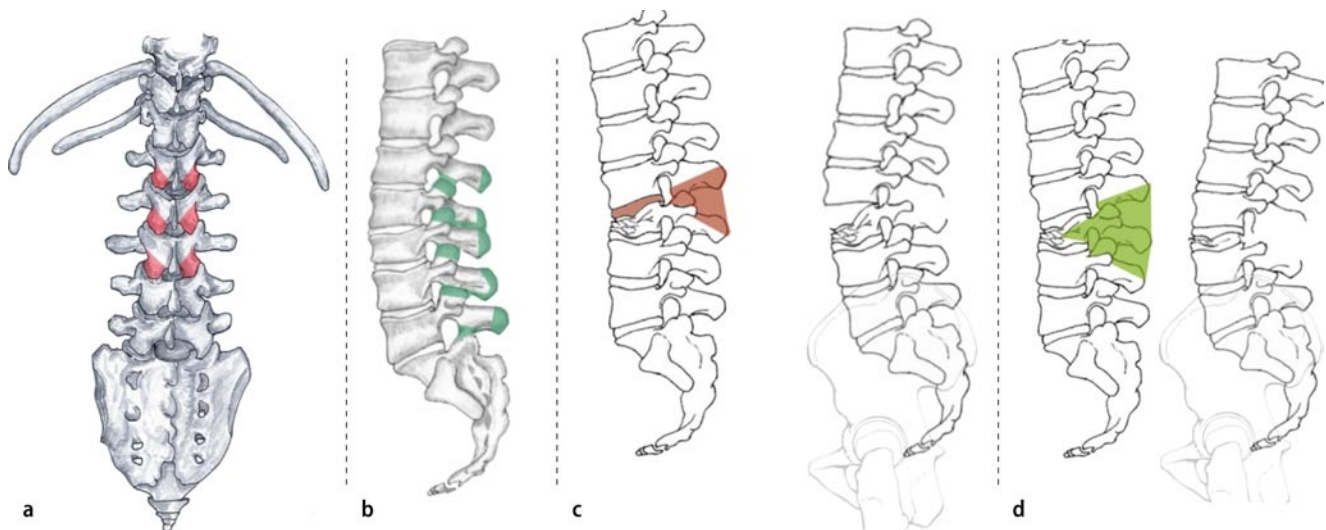


Abb. 9 ▲ Schematische Zeichnungen des dorsalen Release: Ausmaß der knöchernen Resektion bei der Facettektomie (a) und der Ponte-Osteotomie (b). Technik der Smith-Peterson- (SPO, c) und Pedikelsubtraktionsosteotomie (PSO, d) mit jeweiligem Korrekturergebnis. (Mod. nach [25], mit frdl. Genehmigung von Dr. H. Koller)

Resultate

Die Menge an Literatur mit dokumentierten Langzeitergebnissen der PTK-Behandlung ist begrenzt. Noch geringer ist die Zahl der Arbeiten, die Daten hinsichtlich des Sagittalprofils und der spinopelvinen Parameter enthalten. Auch wird insbesondere bei der Gruppe der voroperierten Patienten klar, dass es sich um eine heterogene Gruppe handelt und somit die Vergleichbarkeit mitunter erschwert ist. Eine ausführliche Literaturübersicht hinsichtlich der Behandlung von Frakturen findet sich in den Arbeiten von Koller et al. [9, 25].

Kommt es bei der konservativen Behandlung der Patienten zu einer progredienten Kyphose, konnte deren Korrelation zum schlechten klinischen Ergebnis gezeigt werden [30]. Betrachtet man das Langzeitergebnis nach konservativer Therapie, zeigen neben dem Ausmaß der Berstung insbesondere das Ausmaß der PTK und die reduzierte lumbale Lordose ein signifikant schlechteres Ergebnis [9]. Die Scores der visuellen Analogskala (VAS) korrelierten mit einer größeren Kyphosierung sowie größeren Abweichungen der globalen Balance. Das klinische Ergebnis war jedoch gut, sofern kompensatorische Mechanismen ausreichen, eine physiologische sagittale Balance herzustellen.

Bei unserer eigenen retrospektiven Analyse wurden 201 chronische posttrau-

matische Fehlstellungen identifiziert. Davon wurden 70 Fälle thorakal, 65 thorakolumbal, 34 lumbal, 17 lumbosakral und 15 thorallumbosakral operiert. Die Ergebnisse von 102 PTK mit Kyphosen von mehr als 25° wurden ausgewertet. Die Revisionsrate betrug 6,5%, Revisionen aufgrund neurologischer Defizite waren nicht notwendig, es kam lediglich zu temporären Radikulopathien.

Das Gros der Patienten erfährt bei wiederhergestelltem sagittalem Profil und mit physiologischer Balance eine deutliche Besserung der Lebensqualität.

Dies gilt im Übrigen auch für querschnittgelähmte Patienten. Die Ursachen für ein unbefriedigendes klinisches Ergebnis trotz radiologisch gutem Resultat liegen in Übereinstimmung mit anderen Autoren [5] auch am Intervall zwischen dem Auftreten der Beschwerden und der Operation. Die zwischenzeitlich eingetretene Schmerzchronifizierung mit ihren psychischen und sozialrechtlichen Faktoren spielt dabei eine wichtige Rolle.

Viele Studien fanden keine Korrelation zwischen der postoperativen Kyphose und dem klinischen Ergebnis, sowohl bei operativ als auch konservativ behandelten Patienten. Es existieren jedoch zu wenige Langzeitstudien, die die klinischen Ergebnisse hinsichtlich der sagittalen Balance bewerten. Im Rahmen des zunehmenden

Wissens über die Bedeutung der spinopelvinen Balance finden sich zahlreiche Belege in der Literatur, die für die Korrelation des PTK-Ausmaßes und einem schlechteren klinischen Ergebnis sprechen. So fand sich ein erhöhtes Risiko lokaler Schmerzen bei einer Kyphose von mehr als 10° [31], mehr als 20° [32] oder mehr als 30° [2, 17, 33, 34, 35]. Bei konsequenter Korrektur der sagittalen Balance beschrieben auch Chang et al. [34] und Benli et al. [5] die klinischen Ergebnisse als durchweg sehr gut. Auch bei osteoporotisch bedingten sagittalen Deformitäten zeigte sich nach kombinierter ventrodorsaler Operation eine klinische Besserung insbesondere bei den Patienten mit korrigiertem sagittalem Profil sowie bei besserer Loteinstellung. Sowohl bei kombiniert ventrodorsalem Vorgehen als auch bei PSO zeigten sich die besseren klinischen Resultate in den Fällen mit postoperativer Zunahme der lumbalen Lordose [20, 21].

Bezüglich anderer Wirbelsäulenpathologien finden sich in der Literatur umfangreiche Belege dafür, dass eine globale sagittale und spinopelvine Imbalance mit einem schlechteren klinischen Ergebnis einhergeht. Dies zeigt sich deutlich bei der degenerativen Lumbalskoliose. Die Aufgabe weiterer Studien wird sein herauszufinden, welche Frakturtypen konservativ behandelt werden können und welche mit den beschriebenen operativen Methoden rekonstruiert werden müssen, um ein besseres klinisches Resultat zu erreichen.

Fazit für die Praxis

- Basierend auf einer exakten Diagnostik und Klassifikation der posttraumatischen thorakalen und lumbalen Fehlstellung erfolgt die differenzierte Therapie.
- Da eine verzögert einsetzende Therapie der Entstehung eines chronischen Schmerzsyndroms Vorschub leistet, muss bei der primären Behandlung, ob konservativ oder operativ, die Entstehung einer PTK vermieden werden.
- Die sagittale Imbalance mit pathologischen spinopelvinen Parametern und ventraler Lotabweichung ist mit einem schlechten klinischen Ergebnis vergesellschaftet, sodass das Ziel der Therapie deren Vermeidung bzw. Korrektur dient.
- Unter Verwendung anerkannter operativer Strategien zur Behandlung der PTK können gute Langzeitergebnisse erzielt werden, zuverlässig jedoch nur bei Wiederherstellung der physiologischen sagittalen Balance.
- Insbesondere in der Revisionschirurgie ist eine große Erfahrung des Operateurs einerseits im Umgang mit den verschiedenen dorsalen Osteotomie-techniken und andererseits mit ventralen Zugängen erforderlich.

Korrespondenzadresse

A. Hempfing
 Zentrum für Wirbelsäulenchirurgie,
 Werner-Wicker-Klinik
 34537 Bad Wildungen
 hempfing@werner-wicker-klinik.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Oda I, Cunningham B, Buckley R et al (1999) Does spinal kyphotic deformity influence the biomechanical characteristics of the adjacent motion segment? *Spine* 24:2139–2146
2. Buchowski J, Kuhns C, Bridwell K et al (2008) Surgical management of posttraumatic thoracolumbar kyphosis. *Spine* J 8:666–677
3. Defino H, Canto F (2007) Low thoracic and lumbar burst fractures: radiographic and functional outcomes. *Eur Spine J* 16:1934–1943
4. Schoenfeld A, Wood K, Fisher C et al (2010) Post-traumatic kyphosis: current state of diagnosis and treatment: results of a multinational survey of spine trauma surgeons. *J Spinal Disord Tech* 23:e1–e8

7. Böhler L (1932) Wirbelbrüche und Wirbelverrenkungen. In: Böhler L (Hrsg) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Maudrich, Wien, S 377
8. Stoltze D, Harms J, Boyaci B (2008) Correction of post-traumatic and congenital deformities. Indications, techniques, results. *Orthopade* 37:321–338
9. Koller H, Acosta F, Hempfing A et al (2008) Long-term investigation of nonsurgical treatment for thoracolumbar and lumbar burst fractures: an outcome analysis in sight of spinopelvic balance. *Eur Spine J* 17:1073–1095
10. Klöckner C, Hofmann A, Weber U (2001) Post-traumatic kyphosis of the thoracic and lumbar spine. *Orthopade* 30:947–954
11. Oda I, Cunningham BW, Buckley RA et al (1999) Does spinal kyphotic deformity influence the biomechanical characteristics of the adjacent motion segment? An in vivo model study. *Spine* 24:2139–2146
12. Kumar M, Baklanov A, Chopin D (2001) Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 10:314–319
13. Acaroglu E, Schwab F, Farcy J (1996) Simultaneous anterior and posterior approaches for correction of late deformity due to thoracolumbar fractures. *Eur Spine J* 5:56–62
14. Abel R, Gerner H, Smit C et al (1999) Residual deformity of the spinal canal in patients with traumatic paraplegia and secondary changes of the spinal cord. *Spinal Cord* 37:14–19
15. Brodbelt A, Stoodley M (2003) Post-traumatic syringomyelia: a review. *J Clin Neurosci* 10:401–408
16. Van der Roer N, de Lange E, Bakker F et al (2005) Management of traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 14:527–534
17. Vaccaro A, Silber J (2001) Post-traumatic spinal deformity. *Spine* 26:S111–S118
18. Thomas K, Bailey C, Dvorak M et al (2006) Comparison of operative and nonoperative treatment for thoracolumbar burst fractures in patients without neurological deficit: a systematic review. *J Neurosurg Spine* 4:351–358
19. Verheyden A, Hölzl A, Ekkerlein H et al (2011) Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries. *Unfallchirurg* 114:9–16
20. Berven S, Deviren V, Smith J et al (2003) Management of fixed sagittal plane deformity: outcome of combined anterior and posterior surgery. *Spine* 28:1710–1715, discussion 6
21. Berven S, Deviren V, Smith J et al (2001) Management of fixed sagittal plane deformity: results of the transpedicular wedge resection osteotomy. *Spine* 26:2036–2043
22. Schmidt S, Thomann K, Rauschmann M (2010) Deformities following spinal injury at the thoracolumbar junction. *Orthopade* 39:256–263
23. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J et al (2006) Sagittal alignment of the spine and pelvis: regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 15:415–422
25. Koller H, Zenner J, Ferraris L et al (2009) Sagittale Balance und posttraumatische Fehlstellungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Orthop Unfallchir uptodate* 4:277–320
26. Knop C, Fabian H, Bastian M et al (2001) Late results of thoracolumbar fractures after posterior instrumentation and transpedicular bone grafting. *Spine* 26:88–99
27. Schnake K, Kandziora F (2010) Correction of post-traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine with modified pedicle subtraction osteotomy. *Eur Spine J* 19:2231–2232
28. Oner F, van Gils A, Faber J et al (2002) Some complications of common treatment schemes of thoracolumbar spine fractures can be predicted with magnetic resonance imaging: prospective study of 53 patients with 71 fractures. *Spine* 27:629–636
30. Katscher S, Verheyden A, Gonschorek O et al (2003) Thoracolumbar spine fractures after conservative and surgical treatment. Dependence of correction loss on fracture level. *Unfallchirurg* 106:20–27
32. Gertzbein S (1992) Scoliosis Research Society. Multicenter spine fracture study. *Spine* 17:528–540
33. Malcolm B, Bradford D, Winter R et al (1981) Post-traumatic kyphosis. A review of forty-eight surgically treated patients. *J Bone Joint Surg [Am]* 63:891–899
34. Chang K, Chen Y, Lin C et al (2005) Apical lordosating osteotomy and minimal segment fixation for the treatment of thoracic or thoracolumbar osteoporotic kyphosis. *Spine* 30:1674–1681
35. Kim W, Lee E, Jeon S et al (2006) Correction of osteoporotic fracture deformities with global sagittal imbalance. *Clin Orthop Relat Res* 443:75–93

Das vollständige Literaturverzeichnis ...

... finden Sie in der html-Version dieses Beitrags im Online-Archiv auf der Zeitschriftenhomepage www.DerOrthopaede.de