

Chirurgie von Wirbelkörperfrakturen

Max J. Scheyerer, Clement M. L. Werner

Klinik für Unfallchirurgie, UniversitätsSpital Zürich

Quintessenz

- Die hohen Morbiditäts- und Letalitätsraten von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen sind bedingt durch eine progrediente Kyphosierung mit damit verbundener Veränderung der sagittalen und spinopelvinen Balance. Für die Therapie ist dieses Wissen, ebenso wie die Kenntnis über die Kompensationsmechanismen, unerlässlich.
- Jede chirurgische Intervention muss zum Ziel haben, die progrediente Kyphosierung zu verhindern und die sagittale sowie spinopelvine Balance wiederherzustellen.
- In der Akutphase von Wirbelkörperfrakturen ist die chirurgische Intervention bei persistierender Schmerzsymptomatik, welche die Mobilisation einschränkt, indiziert.


Im Laufe des Lebens erleiden 50% der Frauen über 50 Jahre sowie 20% der Männer eine osteoporotisch bedingte Fraktur [1, 2]. Die Behandlung sollte in interdisziplinärer Zusammenarbeit erfolgen. Einheitliche Therapiekonzepte gibt es nicht, und so führen Fehleinschätzungen hinsichtlich der Frakturstabilität zu einer insuffizienten Therapie mit den Folgen chronischer Schmerzen und progredienter Sinterung. Dieser Artikel bietet einen Überblick über die biomechanischen Grundlagen sowie die chirurgischen Therapieoptionen in der Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen.






Max J. Scheyerer

Biomechanische Grundlagen


Der überwiegende Teil der Wirbelkörperfrakturen sind Kompressionsfrakturen, die sich nach der gängigen AO-Klassifikation als Typ-A-Frakturen klassifizieren lassen. Probleme dieses Frakturtyps ergeben sich zum einen durch die oft ausgeprägte Schmerzsymptomatik sowie durch die Zunahme der Deformität im Sinne einer progredienten Kyphosierung, die zu einem Wechsel der biomechanischen Eigenschaft führt. Beide Probleme sollten, wenn sie konservativ nicht optimierbar sind, operativ angegangen werden.


Die Schwerpunktlinie des Körpers zentriert sich bei einer stehenden, gesunden Person ventral der Wirbelsäule über der Hüftgelenksachse. In sagittalen Ganzkörperaufnahmen stellen sich ideale statische Bedingungen dar, wenn ein Lot (C7-Lot), zentral bei HWK 7 angelegt, hinter LWK 3 fällt, den hinteren Anteil der Endplatte von SWK 1 schneidet und hinter der Hüftgelenksachse liegt (Abb. 1A ). Eignet sich durch strukturelle Veränderungen eine C7-Lotverschiebung nach ventral der

Hinterkante von SWK 1 (> +5 cm), so spricht man von einer positiven sagittalen Imbalance (Abb. 1B ); fällt das C7-Lot gar ventral der Hüftgelenksachse, spricht man von einer dekompenzierten sagittalen Imbalance (Abb. 1C ; Abb. 2 ). Um das Gleichgewicht zu halten, werden die posterioren muskulären sowie ligamentären Elemente vermehrt beansprucht, was zu einer degenerativen Anschlussinstabilität sowie den typischen Rückenschmerzen führt.

Spinopelvine Balance

Neben den posterioren Kompensationsmechanismen dient auch die Position des Beckens in Relation zur Wirbelsäule als Regulator für die sagittale Einstellung der Wirbelsäule. Diese physiologische Beziehung zwischen den Strukturen des Achsenskeletts folgt dem Konzept der spinopelvinen Balance. Das Verständnis hierüber ist für die Diagnostik wie auch Therapie sagittaler Deformitäten der Wirbelsäule unerlässlich.

Die radiologische Beurteilung der spinopelvinen Balance erfordert eine sagittale Ganzkörperaufnahme, bei der die Hüftgelenke im seitlichen Röntgenbild mitabgebildet sein müssen [3]. Darauf zu unterscheiden sind positionelle Parameter, die sich durch die Statik der unteren Extremität sowie durch die Körperhaltung beeinflussen lassen [4]. Zu nennen sind die Sakrumkipfung (Sacral slope, SS), die Beckenkipfung (Pelvic tilt, PT) sowie das Ausmass der lumbalen Lordose und der thorakalen Kyphose (Abb. 3 ). Daneben bestehen morphologische Parameter wie die allgemeine Beckenform und Krümmung des Sakrums. Im Besonderen zu nennen ist die *Pelvic incidence (PI)*, welche die geometrische Position des Sakrums im Becken beschreibt (Abb. 3). Sie bleibt nach Abschluss des Wachstums ein Leben lang unverändert [3].

Das Konzept der spinopelvinen Balance liegt nun in der Interaktion der positionellen und morphologischen Parameter. So konnte eine starke Korrelation der *Pelvic incidence*, dem *Sacral slope* und dem Ausmass der LWS-Lordose bewiesen und in einer Formel dargestellt werden ($PI = PT + SS$) [5]. Aufgrund der fixierten *Pelvic incidence* lässt sich schliessen, dass jede Veränderung des *Sacral slope* zu einer Änderung des *Pelvic tilt* führt. Dies bedeutet beim Gesunden eine Einstellung der Lordose abhängig vom *Sacral slope*, was wiederum durch die *Pelvic incidence* vorgegeben ist (Abb. 4 ) [4]. Beim Auftreten einer zunehmenden Kyphosierung als Folge einer Fraktur wird kompensatorisch durch eine Zunahme des *Sacral slope* (Inklination des Beckens), durch

Die Autoren haben keine finanzielle Unterstützung und keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

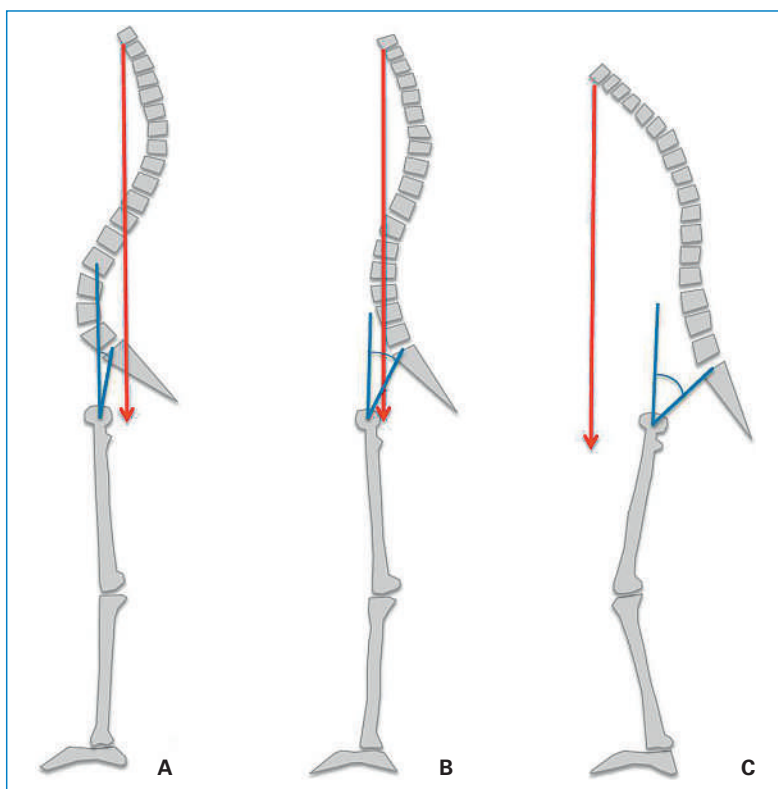


Abbildung 1

Kompensationsmechanismen einer progredienten Kyphose.

(A) Physiologische Situation, wobei das C7-Lot die Hinterkante von SWK 1 schneidet.

(B) Zunehmender Verlust der Lordose und Ventralisierung des C7-Lots. Die Situation wird über die Beckenneigung kompensiert (*Pelvic tilt* wird grösser, *Sacral slope* verringert).

(C) Eine weiter fortschreitende Kyphose führt durch Aufbrauchen der Kompensationsmechanismen zu einer dekompenzierten sagittalen Imbalance. Zusätzlich zur Beckenkippung müssen die Knie flektiert werden (modifiziert nach [1]).

eine Steigerung der segmentalen Lordose sowie Abflachung der thorakalen Kyphose der Rumpf über der Hüftgelenksachse gehalten.

Das Ausmass dieser Kompensationsmechanismen ist vorgegeben durch die individuelle *Pelvic incidence* sowie die Flexibilität der Segmente der Brust- und Lendenwirbelsäule. Ist Letztgenannte beispielsweise durch degenerative Veränderungen oder vorangegangene Fusionen eingeschränkt, führt die frakturbedingte Kyphosierung zu einer Ventralisierung des Körperschwerpunkts. Ab einem gewissen Ausmass ist die kompensatorische Retroversion des Beckens ausgereizt, worauf sich eine dekompenzierte sagittale Imbalance einstellt. Festzuhalten bleibt, dass Individuen mit einer grossen *Pelvic incidence* in der Lage sind, grössere Veränderungen zu kompensieren (Typ 3 und 4, Abb. 4). Daneben ist das Ausmass der Kompensation abhängig von der Frakturlokalisierung. Je kaudaler die Verletzung, desto grösser sind die Auswirkungen auf die sagittale Balance, umso schwieriger die Kompensation.

Neben der bereits beschriebenen stärkeren Zugbelastung der posterioren Strukturen kommt es durch die Dekompensation zu einer Druckbelastung der ventralen Elemente, als Folge dessen sich das Frakturrisiko der benachbarten Wirbel um das Fünffache erhöht [7]. Dieses Phänomen wird auch als «vertebral fracture cascade» bezeichnet [8].

Folgen einer veränderten Biomechanik

Die Veränderungen der biomechanischen Eigenschaften führen zu einer Abnahme der Ganggeschwindigkeit, zu einer Änderung des Gleichgewichts und einer verfrühten Muskelermüdung sowie -insuffizienz der autochthonen Muskulatur [9]. Die damit assoziierte Einschränkung der Beweglichkeit führt ihrerseits wieder zu einem vermehrten Abbau der Knochenstruktur [10].

Die Vitalkapazität der Lunge nimmt mit jedem gebrochenen Brustwirbelkörper um etwa 9% ab, was die Lungenfunktion bei Patienten mit thorakalen bzw. lumbalen Frakturen signifikant reduziert [11, 12]. Die häufig be-

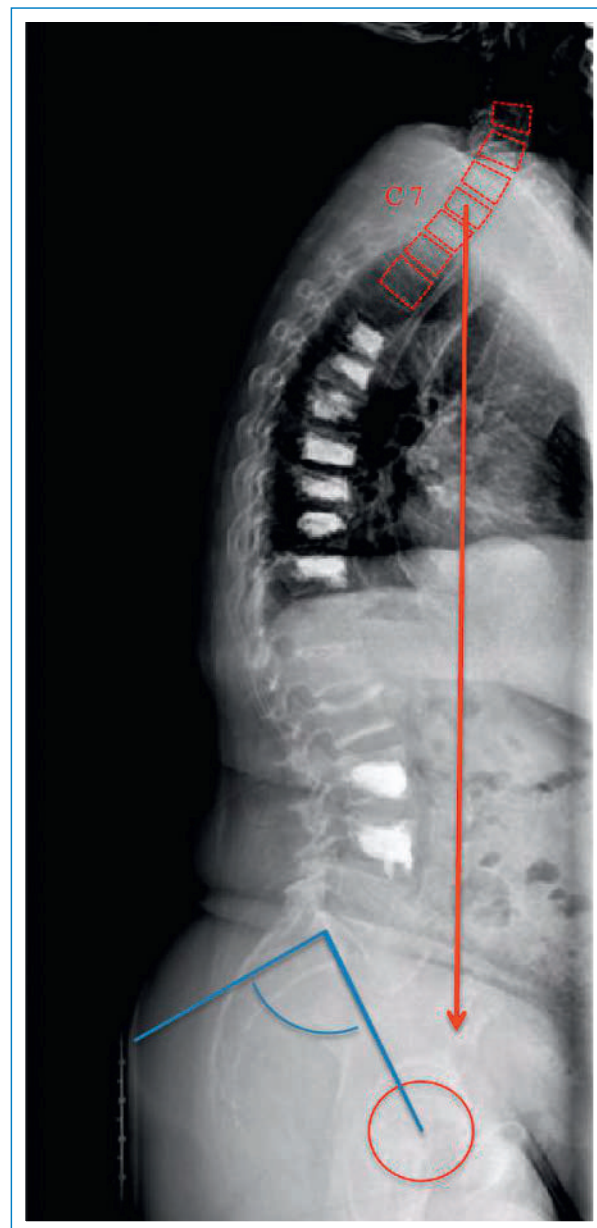


Abbildung 2

75-jährige Patientin mit schwerer Osteoporose und Status nach diversen Wirbelkörper- und Anschlussfrakturen. Trotz der dekompenzierten sagittalen Imbalance war sie beschwerdefrei, so dass auf ein weiteres operatives Vorgehen verzichtet wurde. Aufgrund der grossen *Pelvic incidence* und der optimal geschwungenen Wirbelsäule bestehen genügend Kompensationsmechanismen für eine funktionelle Beschwerdearmut.

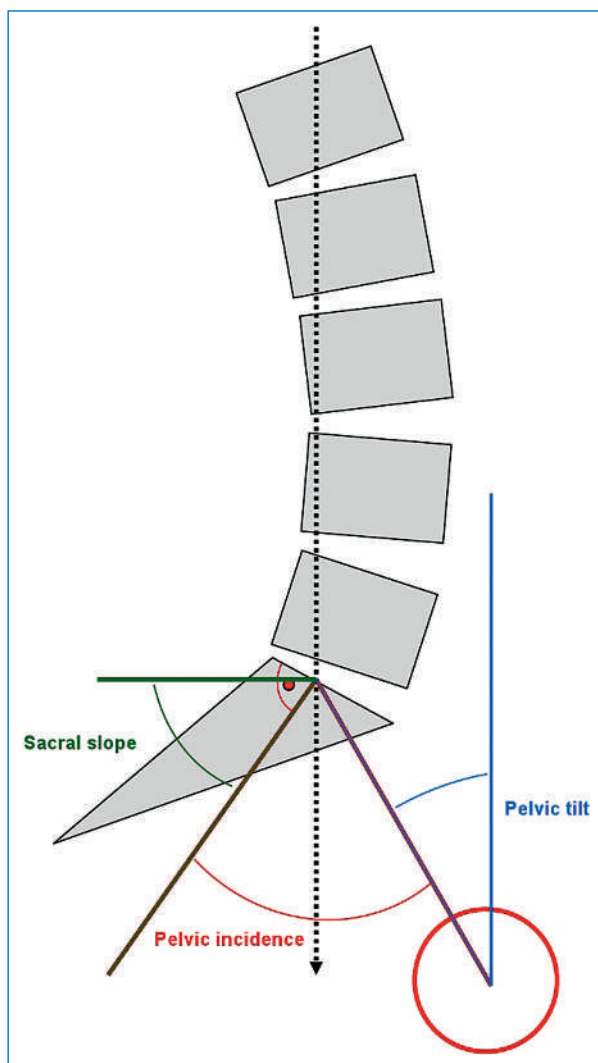


Abbildung 3
Erfassung der sagittalen Parameter zur Beurteilung der Position des Beckens in Relation zur Wirbelsäule (modifiziert nach [4]).


richtete Abnahme der Körpergröße ist zum einen bedingt durch die progrediente Kyphosierung, zum anderen durch eine kompensatorische Hüft- bzw. Knieflexion. Fischwirbelkörper, ein weiteres häufiges pathomorphologisches Bild bei Osteoporose, manifestieren sich vorzugsweise im Lendenwirbelsäulenbereich. Ihre Auswirkungen auf die Biomechanik sind hingegen zu vernachlässigen.

Konservative Therapie

Mit den vermehrten Kenntnissen zu den biomechanischen Auswirkungen von Wirbelkörperfrakturen kam es zu einem Wechsel der Behandlungsmodalitäten. Einfachere Frakturen ohne grössere Höhenminderung werden weiterhin zunächst konservativ behandelt. Falls es allerdings nach einem Intervall von etwa vier Wochen zu keiner relevanten Besserung der Beschwerden kommt, sollte die Diagnostik im Sinne einer kernspintomographischen Bildgebung erweitert und der Patient einem Wirbelsäulenchirurgen vorgestellt werden. Im Rahmen chronischer Rückenschmerzen ist die seitliche Ganzkörperaufnahme der Wirbelsäule von grosser

Bedeutung, um etwaige Veränderungen der sagittalen wie auch spinopelvinen Balance zu erkennen.

Chirurgische Behandlung: Ziele und Indikationen

Komplexere Frakturen sollten bereits initial einem Spezialisten vorgestellt werden. Ziele der chirurgischen Behandlung sind zum einen, Schmerzen zu reduzieren, zum anderen, die sagittale Balance möglichst vollständig wiederherzustellen bzw. bei noch regelrechtem sagittalem Profil zu vermeiden, dass die Deformität zunimmt. Zur Behandlung der frakturassoziierten Schmerzen sowie zur Verhinderung einer weiteren Progredienz der Sinterung haben sich als Alternativen zu den offenen chirurgischen Verfahren seit Mitte der achtziger Jahre die minimalinvasiven Techniken der Vertebroplastie und (Ballon- oder Stent-)Kyphoplastie etabliert (Abb. 2 und 5 ). Zu den Indikationen zählen die schmerzhaften osteoporotischen Sinterungsfrakturen ohne neurologisches Defizit sowie schmerzhafte traumatische, stabile Frakturen bei Osteoporose, wenn die konservative Therapie nach etwa vier Wochen nicht zur gewünschten Besserung führte. Eine deutliche Besserung der Symptomatik konnte ebenso in der Akutphase erreicht werden, so dass sich die Indikation dahingehend erweitert. Durch die Kyphoplastie lässt sich zudem bis zu einem gewissen Ausmass eine Aufrichtung des Wirbelkörpers erreichen, wodurch eine Korrektur der kyphotischen Achsenfehlstellung möglich ist. Dabei ist es wichtig, den Zement soweit wie möglich ventral zu positionieren (Abb. 5). In einer retrospektiven Arbeit, in der Daten von 858 978 Patienten analysiert wurden, konnte durch die perkutane operative Versorgung eine signifikante Reduktion der Letalität im Vergleich zu konservativ behandelten Patienten gezeigt werden, obwohl die Ergebnisse nach Kyphoplastie denen der Vertebroplastie nicht überlegen waren [13].

Kypho- und Vertebroplastie

Bei beiden Verfahren wird über eine Stichinzision mit einer Hohlnadel der Pedikel zunächst eröffnet und anschliessend unter Konvergenz in die Mitte des Wirbelkörpers eingegangen. Im anteroposterioren sowie lateralen Strahlengang wird das Vorbringen der Nadel stetig zeitgleich kontrolliert. Anschliessend wird bei der Vertebroplastie dünnflüssiger Zement unter ständiger Durchleuchtung eingespritzt. Bei der Ballonkyphoplastie werden über die pedikulär eingebrachten Arbeitskanülen die Ballone in der Mitte des Wirbelkörpers platziert. Die Grösse der einzubringenden Ballone richtet sich nach der Grösse der Wirbelkörper (20 mm Länge mit 6 ml Füllvolumen; 15 mm mit 4 ml Füllvolumen). Der weitere Ablauf gliedert sich grob in die Phasen der Dilatation und die der Augmentierung. Unter stetiger Durchleuchtung und Kontrolle von Druck und Volumen werden die Ballone stufenweise aufgedehnt. Neben dem Effekt des Aufrichtens des Wirbelkörpers wird eine knöcherne Höhle geschaffen und die Spongiosa komprimiert. Nach er-

reicher Reposition und entsprechendem Hohlraum werden die Ballone wieder entfernt, und unter röntgenologischer Kontrolle wird nun Zement über die Arbeitskanülen appliziert.

Neben reinem Polymethylmetacrylat (PMMA) kommen auch Zementmischungen und calciumphosphathaltige Zemente zur Anwendung. Letztgenannte haben sich als förderlich für die Heilung erwiesen. Sie gelten als osteokonditiv, indem sie dem wachsenden Knochen als Leitschiene dienen. Sie sind bioaktiv und gehen mit dem umliegenden Knochen ohne bindegewebige Zwischenschicht eine feste Verbindung ein. Durch die strukturelle Ähnlichkeit mit dem natürlichen Knochenmineral sind sie darüber hinaus gut gewebeverträglich. Als ungünstig muss dagegen die initial reduzierte mechanische Belastbarkeit angesehen werden. Hier haben sich die genannten Zementmischungen aus PMMA und Hydroxylapatit (HA) bewährt. Auch sie verfügen im Gegensatz zu reinem PMMA, wie in tierexperimentellen Studien nachgewiesen werden konnte, über eine gute Bioverträglichkeit.

Ergebnisse der Augmentierung

Nach erfolgter perkutaner Augmentierung berichten 90% der Patienten über eine deutliche Reduktion der Schmerzsymptomatik [14–16]. Der analgetische Effekt ist auf eine Stabilisierung der Trabekelstruktur des Wirbelkörpers zurückzuführen. Ausserdem wird ein zyto-/neurotoxischer Effekt des Zements diskutiert, der bei Applikation sowie im Rahmen der exothermen Reaktion beim Aushärten zu einer Schädigung der terminalen nozizeptiven Nervenendigungen führt [17].

Diesen guten Erfolgsaussichten steht eine Komplikationsrate von etwa 1% gegenüber, wobei der überwiegende

Teil der Komplikationen als leicht oder gar für den Patienten irrelevant gewertet werden kann [18]. Zementaustritte zählen zu den häufigsten Ereignissen [19]. Obwohl diese meist als radiologische «Schönheitsfehler» zu werten sind, können sie in seltenen Fällen auch pulmonale und nervale Komplikationen verursachen [20–22]. Des Weiteren besteht ein erhöhtes Risiko von Anschlussfrakturen benachbarter Wirbelkörpersegmente. So erleidet etwa ein Sechstel der Patienten innerhalb eines Jahres nach Behandlung eine neue Fraktur [23]. Zwei Drittel dieser Frakturen treten an direkt benachbarten Strukturen auf [24]. Ursache ist die weitverbreitete Praktik der Maximalfüllung der betroffenen Wirbelkörper mit Zement. Maximalfüllungen führen zwar zu einer erhöhten vertebralen Steifigkeit und Segmentbewegungsfestigkeit, erhöhen aber die Knochenbelastung umliegender Wirbelkörper [25].

Offene chirurgische Interventionen

Neben den perkutanen Verfahren steht auch die offene chirurgische Intervention zur Verfügung, die in Abhängigkeit von Alter, bestehenden Komorbiditäten, Leidensdruck und Langzeitprognose individuell an jeden Patienten angepasst wird. Das Grundprinzip besteht in einer Verlängerung der ventralen Säule und einer Verkürzung der dorsalen Säule. Ein Überblick, der der Orientierung dient, findet sich bei Hempfing et al. [26]. Festzuhalten bleibt, dass entsprechende Korrekturen auch noch nach Ausheilung der Fraktur vollzogen werden können.

Dazu benötigt es ein suffizientes Release der dorsalen und ventralen Strukturen. Ventrale Eingriffe erfolgen über eine Thorakotomie, Lumbotomie, Thorakophrenolumbotomie. Sie können auch minimalinvasiv durchgeführt werden und erstrecken sich von der einfachen Disketomie bis hin zur kompletten Korpektomie mit anschließender Defektrekonstruktion und Stabilisierung. Auch dorsal bestimmt das Ausmass der gewünschten Korrektur die Technik. Sollten nur geringe segmentale Korrekturen erforderlich sein, ist meist eine Facettekтомie ausreichend. Auf diese Weise lassen sich für jedes Segment Korrekturen von 2–5° erzielen. Werden grössere Korrekturen benötigt, braucht es eine Osteotomie. Dadurch lassen sich je nach Verfahren Korrekturen von 5–40° erreichen. Durch die Pedikelsubstraktionsosteotomie können dabei bei kurzstreckigen Kyphosen die grössten Korrekturen erreicht werden. Dabei erfolgt die Entnahme eines Knochenkeils aus den dorsalen Elementen und dem Wirbelkörper, wobei die Lamina und die Pedikel beidseits entfernt werden. Nach der Osteotomie ist auf einen langsamen Verschluss zu achten, um neurologische Schäden zu vermeiden, die durch eine translatorische Instabilität in der anteroposterioren Ebene verursacht werden. Geringer hingegen ist das Risiko einer neuronalen Schädigung bei der Osteotomie nach Ponte (partielle Resektion der superioren und inferioren Facettengelenke) oder der Smith-Peterson-Osteotomie (V-förmige interlaminiäre segmentale Resektion). Multisegmental durchgeführt sind beide die Therapie der Wahl bei längerstreckiger Kyphosierung.

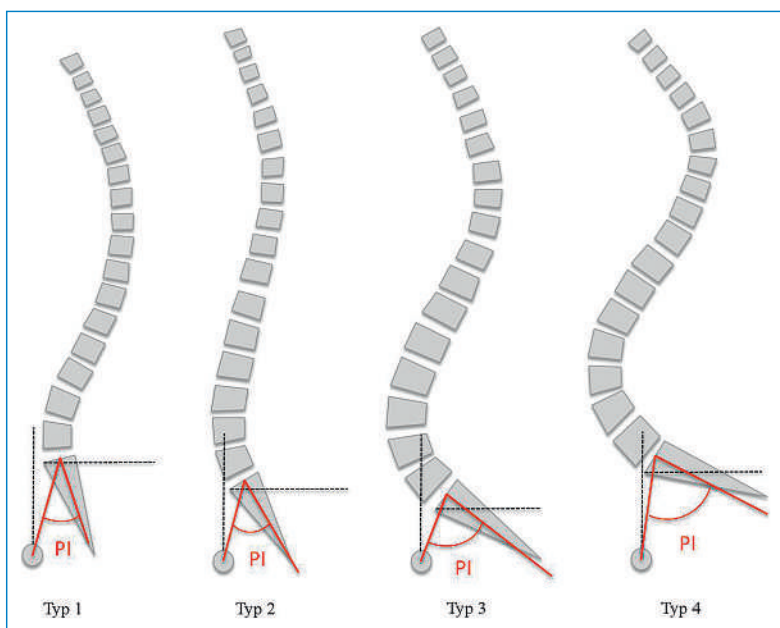


Abbildung 4

Das Ausmass der lumbalen Lordose ist abhängig vom *Sacral slope*, der wiederum von der *Pelvic incidence* vorgegeben wird. Konfigurationen mit einer grossen *Pelvic incidence* (Typ 3 und 4) sind somit in der Lage, grössere Veränderungen besser zu kompensieren (modifiziert nach [1]).

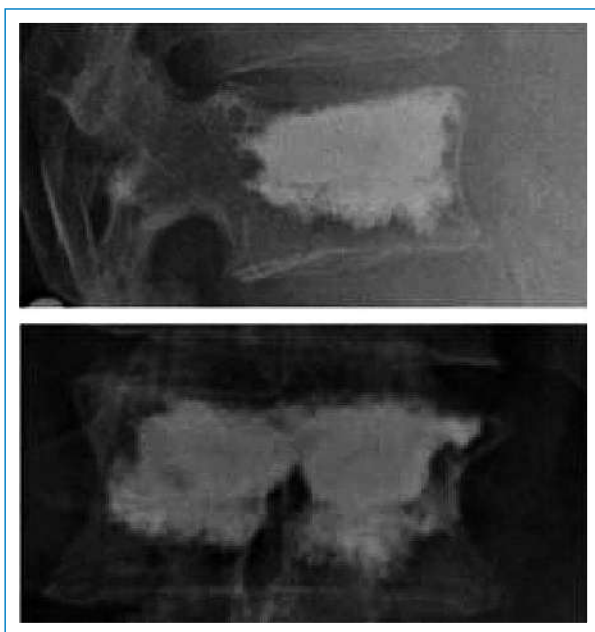


Abbildung 5

Im Rahmen der Kyphoplastie ist es unerlässlich, den Zement so weit wie möglich ventral zu positionieren, um eine weitere Kyphosierung zu vermeiden.

Die sich der Osteotomie anschliessende Spondylodese sollte das Ziel einer möglichst hohen Primärstabilität anstreben [27]. Insbesondere bei osteoporotisch bedingten Frakturen ist auf eine ausreichende Länge und Rigidität der Instrumentation zu achten.

Zusammenfassung

Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen verursachen Schmerzen, welche die Mobilisation der meist betagten

Patienten deutlich einschränken. Zudem sind die Morbiditäts- und Mortalitätsraten hoch, bedingt durch eine progrediente Kyphosierung mit den damit verbundenen Veränderungen der biomechanischen Eigenschaften. Um gute Langzeitergebnisse zu erreichen, erscheint es unerlässlich, die Kyphosierung aufzuhalten bzw. die sagittale wie auch spinopelvine Balance wiederherzustellen. Es wäre interessant, wenn man je nach Frakturtyp eine Vorhersage über das Risiko einer relevanten posttraumatischen Kyphosierung machen könnte, um das Ausmass der Therapie individuell anzupassen. In unseren Augen sollten jene Patienten zwingend einem Wirbelsäulenchirurgen vorgestellt werden, die schmerzbedingt nicht mobilisiert werden können, die von einer progredienten Kyphosierung und dem damit verbundenen Balanceverlust betroffen sind oder die unter einer Spinalkanalstenose leiden.

Korrespondenz:

Dr. med. Max Joseph Scheyerer
 UniversitätsSpital Zürich
 Klinik für Unfallchirurgie
 Rämistrasse 100
 CH-8006 Zürich
[maxjscheyerer\[at\]gmx.ch](mailto:maxjscheyerer[at]gmx.ch)

Weiterführende Literatur

- Rousouly P, Berthonnaud, Dimnet J. [Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2003;89(7):632–9.
- Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P. Pelvic parameters: origin and significance. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5:564–71.
- Duval-Beaupere G, Schmidt C and Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng.* 1992;20(4):451–62.
- Hempfing A, Zenner J, Ferraris L, Meier O, Koller H. [Restoration of sagittal balance in treatment of thoracic and lumbar vertebral fractures]. *Orthopaed.* 2011;40(8):690–702.

Die vollständige Literaturliste finden Sie unter www.medicalforum.ch.