

# Norian SRS als Knochenersatzstoff – Indikationen, Technik und Komplikationen

■ Axel Jubel, Jonas Andermahr, Andreas Elsner, Axel Prokop, Klaus E. Rehm

## Zusammenfassung

Der injizierbare Knochenzement Norian SRS besteht aus einem Kalziumphosphat-Gemisch, das der mineralischen Phase des humanen Knochens entspricht. Unter isothermischen Bedingungen, bei neutralem pH-Wert, härtet das Gemisch nach wenigen Minuten aus und besitzt dann eine hohe primäre Kompressionsstabilität und osteokonduktive Eigenschaften. Der Zement eignet sich zur Auffüllung spongiöser Knochendefekte. Die Anwendung bietet die Möglichkeit auf einen zusätzlichen Eingriff am Beckenkamm, der mit einer hohen Spendermorbidity assoziiert ist, zu verzichten. Die hohe primäre Kompressionsstabilität erlaubt eine frühe Belastung der unteren Extremität ohne das Risiko eines sekundären Repositionsverlustes. Die Komplikationsrate ist gering. Die Resorptionszeit für den Zement beträgt mehrere Jahre.

## Norian SRS as Bone Substitute – Indications Technique and Complications

The injectable bone cement Norian SRS consists of a calcium phosphate mixture that corresponds to the mineral phase of human bone. Under isothermic conditions at neutral pH, the mixture hardens within a few minutes and then possesses a high primary compressibility and osteoconductive properties. The cement is suitable for filling spongy bone defects. This use offers the possibility to avoid the additional intervention at the iliac crest which is associated with a high donor morbidity. The high primary compressibility permits early loading of the lower limbs without the risk of a secondary resorption loss. The rate of complications is low. The resorption time for the cement amounts to several years.

## Einleitung

Nach der Reposition imprimierter Gelenkflächenanteile können metaphysäre höhlenartige Knochendefekte verbleiben [15, 19], da sich die komprimierte, plastisch verformte Spongiosa nicht wieder entfalten kann. Aufgrund der fehlenden Abstützung der reponierten Gelenkfläche kann es unter Belastung zu einem sekundären Repositionsverlust kommen, der zu einer vorzeitigen Arthrose des betroffenen Gelenkes beiträgt [9, 15].

Zur Auffüllung dieser Knochendefekte wird typischerweise autologe Spongiosa oder ein autologer kortikospongiöser Span aus dem Beckenkamm eingesetzt [8]. Das autologe Knochengewebe hat

sowohl osteokonduktive als auch osteoinduktive Eigenschaften. Die Entnahme am Beckenkamm ist jedoch mit einer hohen Spendermorbidity belastet [17, 27]. Die primäre Stabilität des autologen Knochenmaterials ist gering [1, 20], so dass trotz der zusätzlich eingebrachten metallischen Implantate eine Vollbelastung der verletzten Extremität erst nach der knöchernen Heilung möglich ist [23]. Ein weiteres Problem ist die begrenzte Verfügbarkeit der autologen Knochen- transplantate.

Als Alternative zu autologen Knochen- transplantaten wurden neben allogenen Transplantaten Hydroxylapatit-Formkörper [10] aus Rinderknochen und auch Polymethylmetacrylat [24], zur Auffüllung spongiöser Knochendefekte angewandt. Allogene Spongiosatransplantate bergen grundsätzlich das Risiko einer

Infektionsübertragung. Sie besitzen keine osteoinduktiven Eigenschaften mehr und haben die gleiche geringe Primärstabilität wie autologe Transplantate. Die Primärstabilität der Hydroxylapatit-Formkörper ist zwar grundsätzlich größer als die der autologen Spongiosa, allerdings können diese nur schwer in die unterschiedlich geformten Defekthöhlen eingepasst werden [25]. Die porösen Hydroxylapatit-Keramiken werden sehr langsam resorbiert [11, 20]. Polymethylmetacrylat besitzt zwar eine hohe Primärstabilität, stört jedoch durch seine toxischen Eigenschaften und die große Hitzeentwicklung während des Aushärtens den knöchernen Heilungsprozess.

## Hauptteil

Der injizierbare Knochenzement Norian SRS besteht aus einem Kalziumphosphat-Gemisch, das der mineralischen Phase des humanen Knochens entspricht und Dahlit genannt wird [2]. Der zugrunde liegende biochemische Prozess der Zementkristallisation wurde der physiologischen Kalk-Skelettbildung der Korallen nachgeahmt. Diese sind, im Gegensatz zu den Wirbeltieren, in der Lage, ihre Kalziumphosphatminerale proteinunabhängig aufzubauen.

Die Substanz liegt zunächst als zähflüssige, injizierbare und formbare Paste vor (Abb. 1). Unter isothermischen Bedingungen, bei neutralem pH-Wert, härtet das Gemisch wenige Minuten nach Auf-



Abb. 1 Der Zement liegt zunächst als formbare, weiche Paste vor.

füllung der Defekthöhle aus und besitzt dann eine hohe primäre Kompressionsstabilität und osteokonduktive Eigenschaften [2, 5, 16].

In-vitro-Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kompressionsstabilität nach zehn Minuten bereits 10 MPa beträgt [5]. Im Verlauf von 24 Stunden härtet die Substanz vollständig aus und besitzt dann mit 55 MPa eine Kompressionsstabilität, die größer ist als die von intakter humaner Spongiosa mit 1,9 MPa [5].

Am Tiermodell konnte in einer vergleichenden Untersuchung an Ziegen gezeigt werden, dass bei experimentell erzeugten Tibiakopffrakturen durch die Augmentation der metaphysären Defekthöhle mit autologer Spongiosa, die Reposition der Gelenkfläche nicht gehalten wurde [25]. Wenn die Defekthöhle mit Norian SRS gefüllt wurde, konnte eine sekundäre Sinterung verhindert werden. Die Prävalenz arthrotischer Veränderungen des Kniegelenkes war in der SRS-Gruppe nach einer Beobachtungszeit von 18 Monaten geringer [25].

Die Entwicklung eines injizierbaren, druckstabilen biologisch inerten Zements bot erstmals die Möglichkeit, auf den zusätzlichen Eingriff am Beckenkamm, der mit einer hohen Spendermorbidity assoziiert ist, zu verzichten [2, 5, 7, 16]. In einer retrospektiven Untersuchung bei 239 Patienten wurden in 8,6% schwere Komplikationen und in 20% der Fälle leichtere Komplikationen an der Entnahmestelle beschrieben [27]. Zu den schwereren Komplikationen zählten unter anderem tiefe Infektionen (2,5%), große Hämatome (3,3%), die Notwendigkeit von Revisionseingriffen (3,8%), und bleibende Sensibilitätsausfälle (1,2%) [27].

### Indikationen

Der injizierbare Knochenzement Norian SRS wurde an den Extremitäten bei distalen Radiusfrakturen [14, 28], proximalen Femurfrakturen [22], Kalkaneusfrakturen [3, 21] und Tibiakopffrakturen [4, 12, 18] klinisch eingesetzt. Vor Einführung der winkelstabilen Implantate wurde die Substanz in der eigenen Klinik bei distalen Radiusfrakturen [13] vom Typ A3, C1 und C2 der AO-Klassifikation, bei Kalkaneusfrakturen [21] vom „Joint-depression“-Typ und bei Tibiakopffrakturen [12] vom Typ B2, B3 und C1 und C2 der AO-Klassifikation in größerer Zahl eingesetzt. Am Tibiakopf kann bei den reinen Impressionsfrakturen (Typ B2)

auf zusätzliche metallische Implantate verzichtet werden. Postoperativ kann das verletzte Bein unmittelbar nach der Operation voll belastet werden [12].

Die bisher publizierten Ergebnisse klinischer Untersuchungen der Anwendung von Norian SRS am Tibiakopf und Kalkaneus haben gezeigt, dass eine frühere Belastbarkeit der verletzten Extremität im Vergleich zur konventionellen Behandlung möglich ist, ohne dass ein größeres Risiko für einen sekundären Repositionsverlust besteht [3, 4, 12, 18, 21].

Am distalen Radius konnte die Substanz anstelle eines dorsalen Knochen spans bei kürzeren Immobilisationszeiten eingesetzt werden. Hier wurden im Vergleich zum konventionellen Vorgehen geringere Repositionsverluste beobachtet [28]. Seit der Einführung winkelstabiler Implantate an unserer Klinik werden die Indikationen sowohl zum Einsatz des Knochenzements als auch zur kortikospongiosen Spantransplantation sehr viel zurückhaltender gestellt, weil die winkelstabilen Platten in den meisten Fällen keine zusätzliche Stabilisierung benötigen. Am distalen Radius wird die Substanz gar nicht mehr, am Tibiakopf und Kalkaneus nur noch vereinzelt eingesetzt. Grundsätzlich wird das Auffüllen des spongiosen Defektes bei Kalkaneusfrakturen kontrovers diskutiert, weil sich der Defekt in der Regel im so genannten spongiosafreien Dreieck befindet, d. h. einer Lokalisation die auch physiologischerweise wenig Knochensubstanz aufweist und nur gering belastet ist [3].

Die klinischen Ergebnisse werden durch den Einsatz des Knochenersatzstoffes insgesamt nicht verbessert. Den größten Einfluss auf die funktionellen Resultate haben weiterhin die Frakturform und die begleitenden Weichteilschäden [3, 12, 21].

Die **Abb. 2–11** zeigen typische klinische Anwendungsbeispiele.

### Technik

Die Applikation des Zements ist einfach, es sollten jedoch einige Prinzipien beachtet werden, um Misserfolge zu vermeiden.

Die Patienten müssen auf röntgendurchlässigen Operationstischen gelagert werden. Zur Exposition der Frakturen werden Standardzugangswege genutzt.



**Abb. 2** Das a.-p. Röntgenbild des Handgelenkes zeigt eine intraartikuläre distale Radiusfraktur (Typ 23 C1 der AO-Klassifikation) bei einer 65-jährigen Dame nach häuslichem Sturz.



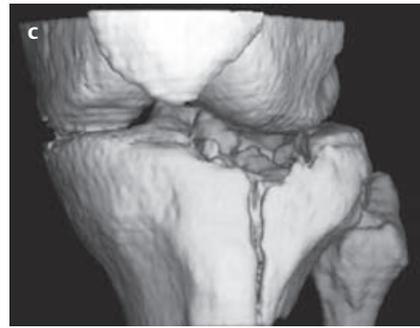
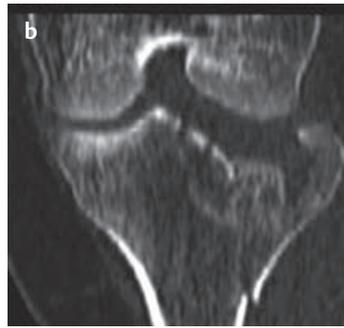
**Abb. 3** Postoperatives a.-p. Röntgenbild 6 Monate nach der Osteosynthese. Zwischen den beiden 2,7 mm Minifragment-Platten erkennt man den Zementblock.



**Abb. 4** A.-p. Röntgenbild des Handgelenkes 12 Monate nach der Osteosynthese, unmittelbar nach Implantatentfernung. Die Zementplombe ist noch deutlich erkennbar. Im Vergleich zu den Voraufnahmen kein Repositionsverlust.



**Abb. 5** A.-p. Röntgenbild des Handgelenkes 36 Monate nach der Osteosynthese. Im Vergleich zu den Voraufnahmen wird die Zementplombe vom Rand her kleiner.



**Abb. 6** (a) A.-p. Röntgenbild des linken Tibiakopfes einer 40-jährigen Patientin, die beim Skifahren stürzte und sich einen lateralen Impressionsspaltbruch zuzog. (b) Die zweidimensionale frontale Rekonstruktion zeigt die Impression der Gelenkfläche des lateralen Tibiaplateaus mit einer Verdichtung der unter der Gelenkfläche liegenden Spongiosa. Der am weitesten laterale gelegene Anteil des Plateaus ist mit einem Rest intakter Gelenkfläche abgespalten. (c) Die dreidimensionale Rekonstruktion verdeutlicht das Ausmaß und die Größe der imprimierten Gelenkfläche.



**Abb. 7** Die a.-p. Aufnahme des linken Tibiakopfes unmittelbar nach der Osteosynthese zeigt, dass der laterale Gelenkblock aufgerichtet wurde. Die beiden Zugschrauben schließen den Frakturspalt. Der Zementblock unterstützt die aufgerichtete Gelenkfläche.



**Abb. 8** Die a.-p. Aufnahme des linken Tibiakopfes 12 Monate nach der Osteosynthese zeigt, dass die Fraktur verheilt ist. Nach der Operation belastete die Patientin das verletzte Bein nach vier Wochen voll. Im Vergleich zur Voraufnahme zeigt sich eine Verbreiterung des Tibiaplateaus von 3 mm.



**Abb. 9 a, b** Röntgenkontrollen des linken Tibiakopfes in zwei Ebenen nach der Metallentfernung, 24 Monate nach der Osteosynthese. Der Zementblock ist in beiden Ebenen unverändert sichtbar. Ein weiterer Repositionsverlust ist nicht aufgetreten.



**Abb. 10 a, b** Röntgenkontrollen des linken Tibiakopfes in zwei Ebenen 5,5 Jahre nach der Osteosynthese. Im Vergleich zu den Voraufnahmen ist keine wesentliche Resorption erkennbar.



**Abb. 11 a, b**  
CT-Schichten  
18 Monate nach  
Osteosynthese  
einer Kalkaneus-  
fraktur vom  
Joint depression  
type. Die Im-  
plantate wurden  
entfernt. Die  
spongiöse Defekthöhle wurde  
von lateral mit  
Norian SRS auf-  
gefüllt. Die Ge-  
lenkfläche wird  
unterstützt.



Die standardisierten Operationsschritte bestehen aus:

- der Reposition der Fraktur,
- der Präparation der Defekthöhle,
- der Stabilisation mit einem Implantat (fakultativ),
- der Füllung des Defektes mit der viskösen Zementpaste.

Die Präparation der Defekthöhle besteht in einer Ausräumung aller lockeren Spongiosaanteile sowie einer kastenförmigen Kompression der verbliebenen Spongiosa mit einem kleinen rechteckigen Stößel. Für die Osteosynthesen werden Standard AO-Implantate verwendet. Die feste und flüssige Komponente des Zements können mit einer speziellen Mischmaschine vermischt werden.

Die Auffüllung der Defekte am Tibiakopf erfolgt über ein separates 3,5 mm Bohrloch oder ein unbesetztes Schraubenloch in der Platte. Am distalen Radius und am Kalkaneus werden die Defekte über die Fraktur aufgefüllt.

Unter Bildwandlerkontrolle werden zunächst die unmittelbar subchondral gelegenen Anteile der Defekthöhle mit einer speziellen Spritzpistole vorsichtig aufgefüllt, um eine intraartikuläre Injektion zu vermeiden (**Abb. 12**). Nach der Auffüllung werden während der folgenden zehn Minuten keine weiteren Manöver vorgenommen, um den Kristallisationsprozess nicht zu stören. Die Blut-



**Abb. 12** Auffüllung der Defekthöhle mit Norian SRS am Tibiakopf.



**Abb. 13** Wenn ohne Blutsperre gearbeitet wird, vermischt sich der noch zähflüssige Zement mit dem Blut. Anstelle eines soliden Knochenblocks entsteht eine krümelige Masse.

sperre wird nicht geöffnet, um ein Vermischen des noch weichen Zements mit Blut zu vermeiden (**Abb. 13**).

### Komplikationen und Probleme

Intraoperativ kam es im eigenen Krankengut zu mehreren kleineren technischen Problemen. Hierzu gehörten so genannte „Kartuschenplatzer“ sowie ein vorzeitiges Aushärten der Zementpaste, so dass diese nicht mehr injiziert werden konnte. In wenigen Fällen kam es zu Funktionsstörungen der Zementmischmaschine. Alle Probleme konnten durch erneutes Anmischen einer Zementportion gelöst werden, führten jedoch zu einem etwa 20- bis 30-minütigen Zeitverlust. Es wurde bei allen Operationen zunächst jeweils eine 10 ml Kartusche verwendet. Bei den Anwendungen mit „technischen“ Problemen mussten weitere Kartuschen verwendet werden. Diese wurden nach einer entsprechenden Reklamation vom Hersteller allerdings ersetzt.

Die Komplikationsrate bei der Anwendung des Knochenzements ist gering. Die Arbeitsgruppe von Welkerling [26] vermutete eine SRS-induzierte Weichteilreaktion als Ursache für Schmerzen und eine schlechte Gelenkfunktion nach Auffüllung von Enchondromhöhlen am Hu-

meruskopf. Derartige Beobachtungen wurden bisher jedoch in keiner weiteren Studie beschrieben und konnten auch im eigenen Krankengut nicht beobachtet werden.

Oberflächliche Wundheilungsstörungen sind in der Regel traumatisch bedingt und nicht durch die Substanz selbst. Allerdings bergen diese Wundheilungsstörungen immer das Risiko einer tiefen Infektion, wie sie im eigenen Krankengut einmal am Tibiakopf und zweimal am Kalkaneus beobachtet wurden.

Diese tiefen Infektionen lassen sich nur durch eine komplette Ausräumung des avitalen Materials beherrschen. Die Anwendung des Knochenzements sollte nur bei intakten Weichteilverhältnissen erfolgen, da sonst das Risiko einer tiefen Infektion besteht.

Damit sich der zähflüssige Zement nach der Applikation als solider Zementblock aushärtet, erfordert die Operation eine Blutsperre und eine Ausräumung aller gelockerten Spongiosafragmente.

Der Zement besitzt eine hohe Kompressionsstabilität, jedoch nur eine geringe Stabilität gegenüber Scher- und Biegekräften [2, 5, 16]. Unter der Vorstellung einer besseren Übertragung der Druck-

kräfte von der Gelenkfläche über die Zementplombe auf den metaphysären Knochen werden die Spongiosadefekte mit einem schmalen Stößel kastenförmig vorgeformt. Die Füllung der Defekthöhle sollte unter Bildwandlerkontrolle mit moderatem Druck erfolgen, um eine intraartikuläre Injektion zu vermeiden.

Constanz [2] wies bereits darauf hin, dass die Resorption des Zements im menschlichen Knochen langsamer sei als im Tiermodell. Es wird geschätzt, dass der Umbauvorgang beim Menschen bis zu fünf Jahren in Anspruch nehmen kann [25]. Die Ursache für den langsamen Resorptionsvorgang ist das große Molekulargewicht (MW) des Zements. Kompressionsstabilität und Resorptionsdauer der resorbierbaren Knochenzemente verhalten sich umgekehrt proportional und werden durch das MW bestimmt. Andere Knochenzemente, mit einem geringeren MW (z.B. Calcibon®) werden bereits nach 12–24 Monaten komplett durch körpereigenen Knochen ersetzt, besitzen aber nur eine geringere Kompressionsstabilität. Im eigenen Krankengut wurde bei Tibiakopffrakturen [12] und Kalkaneusfrakturen [3] in einem Untersuchungszeitraum von bis zu 36 Monaten der Zement noch nicht vollständig durch ortständigen Knochen ersetzt. Radiologisch zeigt sich im Verlauf eine langsame, vom Rand her einsetzende Verkleinerung der Zementplombe.

Histologische Untersuchungen am Tiermodell zeigten, dass der Zement an seiner Oberfläche von Osteoklasten resorbiert wird und gleichzeitig eine Knochenneubildung durch Osteoblasten stattfindet [5]. Dieses Ergebnis konnte an einzelnen Probeentnahmen am menschlichen Skelett bestätigt werden [3, 21]. Entzündungsreaktionen oder Fremdkörperreaktionen wurden nicht nachgewiesen.

Ein Problem des Knochenzements Norian SRS sind die im Vergleich zu autologem Knochenmaterial sehr viel höheren Kosten. Eine ökonomische Untersuchung [6] konnte allerdings zeigen, dass aufgrund der im Vergleich zur konventionellen Behandlung kürzeren Rehabilitationsphase die Gesamtkosten der Behandlung gesenkt werden können.

## Literatur

- 1 Brodt M, Swan CC and Brown TD. Mechanical behavior of human morselized cancellous bone in triaxial compression testing. *J Orthop Res* 1998; 16: 43–49
- 2 Constantz BR, Ison IC, Fulmer MT et al. Skeletal repair by in situ formation of the mineral phase of bone. *Science* 1995; 267: 1796–1799
- 3 Elsner A, Jubel A, Prokop A, Koebke J, Rehm KE and Andermahr J. Augmentation of intraarticular calcaneal fractures with injectable calcium phosphate cement: densitometry, histology, and functional outcome of 18 patients. *J Foot Ankle Surg* 2005; 44: 390–395
- 4 Engel T, Lill H, Korner J, Verheyden P and Josten C. Tibiplateaufrakturen – Erste Erfahrungen mit einem resorbierbaren Knochenzement zur Augmentation. *Unfallchirurg* 2003; 106: 97–101
- 5 Frankenburg EP, Goldstein SA, Bauer TW, Harris SA and Poser RD. Biomechanical and histological evaluation of a calcium phosphate cement. *J Bone Joint Surg Am* 1998; 80: 1112–1124
- 6 Gebera. Ökonomische Beurteilung alternativer Therapieverfahren zur Behandlung spongiöser Knochenfrakturen. Köln, Gebera 1997
- 7 Gerngross H, Burri C, Kinzl L, Merk J and Müller GW. Komplikationen an der Entnahmestelle autologer Spongiosatransplantate. *Aktuell Traumatol* 1982; 3: 146–149
- 8 Hertel P. Tibiakopffrakturen. *Unfallchirurg* 1997; 100: 508–523
- 9 Honkonen SE. Indications for surgical treatment of tibial condyle fractures. *Clin Orthop* 1994; 199–205
- 10 Itokazu M, Matsunaga T and Ishii M. Use of arthroscopy and interporous hydroxyapatite as a bone graft substitute in tibial plateau fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 1996; 115: 103–108
- 11 Johnson KD, Frierson KE, Keller TS et al. Porous ceramics as bone graft substitutes in long bone defects: a biomechanical, histological and radiographical analysis. *J Orthop Res* 1996; 14: 351–369
- 12 Jubel A, Andermahr J, Mairhofer J, Prokop A, Hahn U and Rehm KE. Die Anwendung des injizierbaren Knochenzements Norian SRS bei Tibiakopffrakturen. Ergebnisse einer prospektiven Anwendungsbeobachtung mit einem Follow-up von 30 Monaten. *Orthopade* 2004; 33: 919–927
- 13 Jubel A, Mairhofer J, Schiffer G, Andermahr J, Rehm KE and Schubert M. Der resorbierbare Knochenzement Norian SRS. *ZOM Zentrum Operative Medizin* 2000; 1: 16–18
- 14 Jupiter JB, Winters S, Sigman S et al. Repair of five distal radius fractures with an investigational cancellous bone cement: a preliminary report. *J Orthop Trauma* 1997; 11: 110–116
- 15 Lachiewicz PF and Funcik T. Factors influencing the results of open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures. *Clin Orthop* 1990; 210–215
- 16 Larsson S and Bauer TW. Use of injectable calcium phosphate cement for fracture fixation: a review. *Clin Orthop* 2002; 23–32
- 17 Laurie SW, Kaban LB, Mulliken JB and Murray JE. Donor-site morbidity after harvesting rib and iliac bone. *Plast and Reconstr Surg* 1984; 73: 933–938
- 18 Lobenhoffer P, Gerich T, Witte F and Tscherne H. Use of an injectable calcium phosphate bone cement in the treatment of tibial plateau fractures: a prospective study of twenty-six cases with twenty-month mean follow-up. *J Orthop Trauma* 2002; 16: 143–149
- 19 Lobenhoffer P, Schulze M and Tscherne H. Die minimal-invasive Osteosynthese von Tibiakopffrakturen. *Unfallchirurg* 1996; 99: 569–575
- 20 Rueger JM. Knochenersatzmittel – Heutiger Stand und Ausblick. *Orthopäde* 1998; 27: 72–79
- 21 Schildhauer TA, Bauer TW, Josten C and Muhr G. Open reduction and augmentation of internal fixation with an injectable skeletal cement for the treatment of complex calcaneal fractures. *J Orthop Trauma* 2000; 14: 309–317
- 22 Stanekewich CJ, Swiontkowski MF, Tencer AF, Yetkinler DN and Poser RD. Augmentation of femoral neck fracture fixation with an injectable calcium-phosphate bone mineral cement. *J Orthop Res* 1996; 14: 786–793
- 23 Südkamp N, Schönfelder V, Weiler A and Schütz M. Arthroskopisch kontrollierte minimal-invasive Stabilisierung von Tibiakopffrakturen. *Arthroscopie* 1998; 11: 228–234
- 24 Welch RD, Berry BH, Crawford K et al. Subchondral defects in caprine femora augmented with an in situ setting hydroxyapatite cement, polymethylmethacrylate, or autogenous bone graft: biomechanical and histomorphological analysis after two years. *J Orthop Res* 2002; 20: 464–472
- 25 Welch RD, Zhang H and Bronson DG. Experimental tibial plateau fractures augmented with calcium phosphate cement or autologous bone graft. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85-A: 222–231
- 26 Welkerling H, Raith J, Kastner N, Marschall C and Windhager R. Painful soft-tissue reaction to injectable Norian SRS calcium phosphate cement after curettage of enchondromas. *J Bone Joint Surg Br* 2003; 85: 238–9
- 27 Younger EM and Chapman MW. Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma* 1989; 3: 192–195
- 28 Zimmermann R, Gabl M, Lutz M, Angermann P, Gschwentner M and Pechlaner S. Injectable calcium phosphate bone cement Norian SRS for the treatment of intra-articular compression fractures of the distal radius in osteoporotic women. *Arch Orthop Trauma Surg* 2003; 123: 22–27

**Priv.-Doz. Dr. med. Axel Jubel**

Leitender Oberarzt

**Priv.-Doz. Dr. med. Jonas Andermahr**

Oberarzt

**Dr. med. Andreas Elsner**

Assistenzarzt

**Priv.-Doz. Dr. med. Axel Prokop**

Leitender Oberarzt

**Prof. Dr. med. Klaus E. Rehm,**

Direktor

Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universität zu Köln  
Josef-Stelzmann-Str. 9  
50924 Köln